

**MODELO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA MINERALIZACIÓN VETIFORME EN  
LA MINA EL GRAN PORVENIR DEL LÍBANO, USANDO LEAPFROG GEO**

Daniel Esteban Duque Alzate

[dduquea1@eafit.edu.co](mailto:dduquea1@eafit.edu.co)

**Trabajo de grado como requisito para optar por el título de *geólogo***

Director

Alejandro Beltrán-Triviño, PhD.

[aibeltran@eafit.edu.co](mailto:aibeltran@eafit.edu.co)

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
MEDELLÍN  
2021**

## **Dedicatoria**

Madre, padre y hermano.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer deliberadamente a cada una de las personas que integraron mi entorno en los últimos años: familia, amigos, profesores y compañeros, ustedes como entorno, me permitieron crecer en múltiples aspectos a través de sus aportes, consejos, enseñanzas y experiencias; son hoy, una parte de mí.

Quiero destacar mi admiración por ustedes, señores y señoras: María A., Jose D., Anderson D., Alejandro B., Sharol B., Cristian, V., Angie R., Óscar S., Diego B., Mariana C., Daniel D., Juan C., Michael F., Universidad EAFIT y mina El Gran Porvenir.

You all guys are what exist behind my balaclava.

## **Tabla de contenido**

### **Resumen**

#### **1. Introducción**

#### **2. Generalidades**

2.1. Pregunta de investigación

2.2. Hipótesis

2.3. Objetivo general

2.4. Objetivos específicos

#### **3. Localización**

#### **4. Marco teórico**

#### **5. Antecedentes**

#### **6. Metodología**

6.1. Revisión bibliográfica

6.2. Campañas de campo y laboratorio

6.3. Digitalización y procesamiento de datos

6.4. Integración de información y construcción del modelo

#### **7. Marco geológico regional**

7.1. Geología estructural regional

7.1.1. Falla Palestina

7.1.2. Falla Mulatos

#### **8. Resultados**

Geología local

Geología estructural local

#### **9. Discusión**

#### **10. Conclusiones**

#### **11. Recomendaciones**

#### **12. Referencias**

#### **Anexos**

## Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localización de la Mina El Gran porvenir del Líbano S.A.

Figura 2. Esquema generalizado del ambiente tectónico de un depósito de oro orogénico (Groves ,2020)

Figura 3. Flujodiagrama metodológico utilizada en la presente investigación

Figura 4. Mapa geológico regional de la mina El Gran Porvenir escala 1:2000. Modificado de Barrero y Vega (1976).

Figura 5. A) Distribución de las hojas cartográficas dentro del área de la mina. B) Ejemplo de una de las hojas cartográficas

Figura 6. Representación gráfica de las perforaciones diamantinas de la mina El Gran Porvenir.

Figura 7. A). Núcleo de perforación mostrando lentes de Qz gris, fracturas rellenas de carbonatos y microfalla inversa; B). Estructura pinch and swell; C). Intercalación de esquistos negros y verdes; D). kink bands en esquistos negros; E). Plegamiento en esquistos; F). Limolita y hematita; G). núcleo de perforación con intercalación de esquistos verdes y negros; H). Esquisto negro con carbonatación.

Figura 8. A) Stockwork en esquistos verdes; B) Esquistos negros con stockwork; C). Stockwork en logueo de esquisto negro.

Figura 9. A). Logueo donde se observan esquistos negros y verdes, dique aplítico y las vetas de cuarzo; B). Dique paralelo a la veta; C). Logueo de dique donde se observa fuchisita; D). Dique embebido en veta de cuarzo E). Dique dispuesto en planos de fractura de veta de cuarzo F). Dique cortando esquistos negros

Figura 10. Se observan minerales accesorios comunes en el depósito; A). Galena, pirita y esfalerita; B). Calcopirita; C). Covelina; D). Bornita; E). Estibina; F). Pirrotina; G). Sheelita en veta de cuarzo; H). Veta de cuarzo con esquisto negro bandeados; I). Logueo de esquisto negro y veta de cuarzo con sheelita; J). Cuarzo brechado en logueo; K). Marcasita; L). Cuarzo drusiforme.

Figura 11. **A.** Típica falla NW donde se evidencia la cinemática normal en los pliegues de arrastre del bloque derecho; **B.** Falla normal con porfiroblasto de cuarzo brechado y budinado; **C.** Intenso diaclasamiento en dique aplítico cercano a falla NW; **D.** “slicken fibers” de cuarzo y calcita en la pared occidental de los túneles; **E.** Falla NW con relleno de esquisto negro y gauge de falla; **F.** Diaclasas dispuestas en sigmoides; **G.** “slicken fibers” de calcita en núcleo de roca; **H.** “slicken fibers” asociados a cinemática de falla equivalente NW; **I.** Microfalla de escala centimétrica mostrando cinemática sinistral en fallas tipo N-S.

Figura 12 A). Red estereográfica de los 4 grupos de fallas encontrados en la mina el Gran Porvenir; B). Diagrama de rosas, las direcciones de buzamiento principales de las fallas.

Figura 13. A). Red estereográfica de fallas con tendencia NW; B). Diagrama de rosas donde se evidencian buzamientos al SW principalmente.

Figura 14. A). Red estereográfica de fallas con tendencia E-W; B). Diagrama de rosas donde se evidencian buzamientos al NW y S principalmente.

Figura 15. A. Red estereográfica de fallas con tendencia N-S; B). Diagrama de rosas donde se observan buzamientos al E principalmente.

Figura 16. A. Red estereográfica de fallas con tendencia NE; B). Diagrama de rosas donde se observan buzamientos al NW y SW principalmente.

Figura 17. **A.** Perfiles longitudinales (líneas naranjas) del modelo geológico – estructural del depósito EGP; **B.** Perfil longitudinal A-A'; **C.** Perfil longitudinal B-B'; **D.** Perfil longitudinal C-C'; **E.** Perfil longitudinal D-D'.

Figura 18. **A.** Perfiles transversales (líneas moradas) del modelo geológico – estructural del depósito EGP; **B.** Perfil transversal A-A'; **C.** Perfil transversal B-B'; **D.** Perfil transversal C-C'; **E.** Perfil transversal D-D'. **F.** Perfil transversal E-E'; **G.** Perfil transversal F-F'; **H.** Perfil transversal G-G'.

Figura 19. Comparación entre un sistema de fallas Riedel teórico (Hillacre, 2018) y los diferentes grupos de fallas identificados en el depósito.

Figura 20. A. Secuencia de estructuras en el experimento de Riedel. (Tchalenko, 1670); B. Estructura en flor de gran escala (km) vista en línea sísmica. (Harding, 1990).

## Lista de tablas

Tabla 1. A) Perforaciones logueadas en laboratorio; B) Perforaciones logueadas a través de fotografías.

Tabla 2. Construcción de la base de datos de perforación. Incluye en orden los archivos collar.csv, survey.csv, lithology.csv y assay.csv.

Tabla 3. Universalización de códigos y paleta de colores para cada una de las unidades geológicas y estructurales. **DYKE**: Diques aplíticos; **F**: Fallas; **GSCH**: Esquisto verde; **SAP**: Saprolito; **SOIL**: Suelo residual; **V/Z**: Zonas de venillas; **VETA**: Vetas de cuarzo; **BSCH**: Esquisto negro.

## **Resumen**

Un paso fundamental en un proyecto minero es comprender la geometría y distribución de un cuerpo que contiene los metales de interés (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, entre otros) ya que este análisis posibilita optimizar procesos de exploración – explotación en una compañía, y más, cuando los rasgos estructurales juegan un rol importante como condicionantes de zonas anómalas de acumulación del mineral. La mina El Gran Porvenir es un depósito vetiforme de cuarzo aurífero ubicado al norte del municipio del Líbano, Tolima con información muy limitada que apunte a comprender tridimensionalmente la estructura mineralizada.

En este trabajo se realizó una cartografía geológica en escala 1:250 de 5500m de tunelería representativa del rumbo y buzamiento del depósito, en adición a la construcción y actualización de una base de datos de 28000m de registros de perforación diamantina con el objetivo de plantear un modelo geológico - estructural tridimensional del yacimiento. Los resultados obtenidos indican que el control estructural de la mineralización viene dado por sistemas de fallas Riedel asociados a una zona de cizalla principal de cinemática sinistral que, en su proceso de deformación progresiva, produce arreglos estructurales complejos como estructuras en flor que se constituyen, en puntos específicos, como zonas de enriquecimiento mineral.

**Palabras clave:** modelo geológico, modelo estructural, Leapfrog Geo, mina El Gran Porvenir, cartografía subterránea, perforaciones diamantinas, tridimensional, depósito mineral oro y plata.



## 1. Introducción

El entendimiento de la geometría y distribución tridimensional de una estructura mineralizada, es decir, aquella unidad geológica que contiene un mineral de interés económico, es un paso fundamental que conduce a una adecuada estimación de recursos y reservas, del mismo modo, contribuye a desarrollar una estrategia minera de calidad que potencie, en especial, los trabajos de exploración a escala de yacimiento que aspiran determinar zonas con alto grado de mineralización. La delimitación de estas estructuras mineralizadas es un proceso que busca describir las distintas características geológicas y estructurales que aportan al control de la capacidad de almacenamiento del mineral en las tres dimensiones del espacio (Knight et al., 2007; Hill et al., 2013; Hronsky, 2019).

Leapfrog Geo (By Aranz Geo) es una herramienta ofimática de uso extenso en geología, en particular, dentro del sector minero ya que permite generar modelos geológicos tridimensionales implícitos, basados en información de sondajes diamantinos que se inter-extrapolan a través de ecuaciones matemáticas que respetan reglas geológicas, de este modo, facilita crear diversos escenarios geológicos y determinar tendencias geológicas y estructurales (Cowan et al., 2002; Ramírez A., 2016). A pesar de ser una buena aproximación para el entendimiento de las unidades en el subsuelo, es necesario tomar en consideración que estos modelos están fundamentados en información limitada y son una representación simplificada de la realidad que, a medida que se integren o vinculen diferentes tipos de enfoques (litológicos, estructurales, geoquímicos, geofísicos, entre otros) resultará en una reducción de la incertidumbre del modelo final (Birch, 2014; Bele y Kamberaj, 2017), lo cual tiene implicaciones importantes en la toma de decisiones dentro de un proyecto económico.

La mina El Gran Porvenir del Líbano S.A (EGP), ubicada al norte del departamento del Tolima (Figura 1), es un yacimiento auro-argentífero con contenidos variados de sulfuros

(Fe, Pb, Zn, Cu, entre otros), carbonatos, wolframatos y telururos. Geológicamente, el depósito está enmarcado dentro de sistemas regionales de fallas como la Falla Palestina y la Falla Mulatos, presenta una litología dominada por rocas metamórficas Paleozoico conocidas como el Complejo Cajamarca que están conformadas por esquisto negro y, en menor proporción, esquisto verde y esquisto micáceo (Nelson, 1962; Feiniger et al., 1972), estas rocas presentan mineralizaciones de filones de cuarzo con rumbo preferencial 200 y buzamientos que varían desde los 35-55° hacia el noroccidente, clasificadas como depósitos de oro orogénico (Angée y Betancur, 2018; Durán, 2018). Cabe resaltar que en este tipo de depósitos los rasgos estructurales son complejos y cobran particular interés, ya que condicionan zonas anómalas de acumulación de oro denominadas “ore shoots” (Vollger et al., 2019). En adición a los trabajos de caracterización metalogénica anteriores, no hay información geológica asociada al entendimiento espacial y temporal de la estructura mineralizada.

Los insumos básicos necesarios para este análisis como la cartografía geológica y estructural de detalle son hasta el momento muy limitados. A pesar de haber realizado numerosas perforaciones diamantinas, estas se encuentran parcialmente analizadas y no se encuentran representadas espacialmente en un modelo geológico tridimensional. Esta fragmentación de la información dificulta el acceso, manejo, interpretación y, en varios casos, la pérdida de la misma. Respondiendo a estas necesidades, este trabajo generó una cartografía subterránea escala 1:250 en cerca de 5500m de tunelería; se actualizó, compiló y depuró información de sondajes diamantinos de años anteriores al 2020 (12000m), se realizó un registro geológico y de estructuras en laboratorio a cerca de 5200m de núcleos y, por medio de fotografías, a aproximadamente 11000m de perforación con el objeto de producir un modelo geológico-estructural tridimensional haciendo uso del

programa Leapfrog Geo que permita entender la configuración estructural del depósito y su relación con fallas regionales como la Falla Palestina y Mulatos.

Este estudio representa un aporte de interés para la mina EGP puesto que plantea el modelo estructural del depósito, sirviendo como punto de referencia para próximos trabajos e investigaciones, además, de servir como herramienta de proyección que busca optimizar los trabajos y análisis elaborados en las áreas de exploración-explotación en las diferentes actividades e.g.: planes de perforación “infill” y “brownfield”, direccionamiento de labores de explotación, estimaciones de recursos y reservas, entre otros.

## **2. Generalidades**

### **2.1. Pregunta de investigación**

¿Existe un control de la mineralización vetiforme en la mina El Gran Porvenir del Líbano S.A. por parte de estructuras regionales presentes en el área?

### **2.2. Hipótesis**

La mineralización del depósito en la Mina el Gran Porvenir es controlada, estructuralmente, por sistemas regionales de fallas tales como la Falla Mulatos al oriente y Falla Palestina al occidente de la zona de estudio.

### **2.3. Objetivo general**

Plantear un modelo geológico-estructural tridimensional del depósito vetiforme en la mina El Gran Porvenir haciendo uso del software Leapfrog Geo V4.0 by AranzGeo.

### **2.4. Objetivos específicos**

- Definir la geometría y distribución de la estructura mineralizada en el depósito incluyendo información mineralógica cualitativa, espesores y fallas.

- Construir una base de datos unificada de registros de pozos de perforación diamantina dentro del área del proyecto.
- Entender la configuración estructural presente en el depósito y relacionarla a modelos de depósitos de oro orogénico.

### **3. Localización**

El área de referencia corresponde al flanco occidental de la Cordillera Central, situado al norte del departamento del Tolima y en jurisdicción del municipio del Líbano, en cercanía a las veredas El Porvenir-Matefique. Linealmente, se encuentra ubicada a 64km hacia el NNE desde la ciudad de Ibagué, 113km hacia el WNW desde Bogotá, 54km hacia el ESE desde Manizales y 153km hacia el SSE desde Medellín (Figura 1).

**MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA MINA EL GRAN PORVENIR DEL LÍBANO, S.A.  
TOLIMA, COLOMBIA**

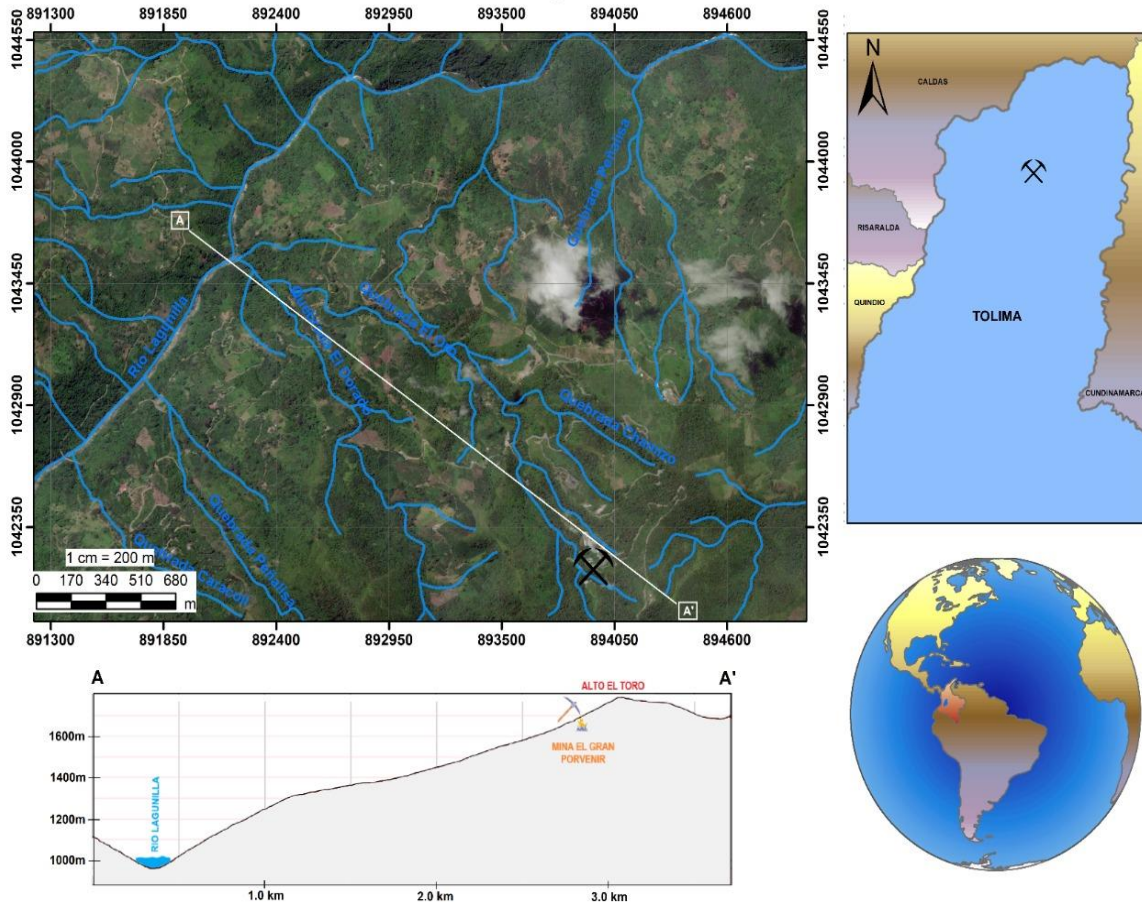


Figura 1. Mapa de localización de la Mina El Gran porvenir del Líbano S.A.

#### 4. Marco teórico

Los yacimientos de oro orogénico son un tipo distintivo de depósito de oro que se caracteriza por diversas peculiaridades consistentes en el espacio y el tiempo, son depósitos asociados a terrenos regionalmente metamorfoseados de todas las edades (Goldfarb et al., 2001; Groves et al., 1998), siendo formados en distintas etapas durante la orogénesis de colisión, particularmente comunes durante el levantamiento y la exhumación de rocas de facies de esquistos verdes (Mackenzie et al., 2008).

Los minerales presentes en dichos yacimientos son formados durante los procesos de deformación compresional a transpresional en las márgenes de placas convergentes en los

orógenos de acreción y colisión. En ambos tipos de orógenos, se añaden rocas sedimentarias marinas hidratadas y volcánicas a los márgenes continentales; los eventos térmicos relacionados con la subducción, que aumentan episódicamente los gradientes geotérmicos dentro de las secuencias de acreción hidratadas, inician e impulsan la migración de fluidos hidrotermales a larga distancia. Las vetas de cuarzo con contenido de oro, sulfuros de Fe y carbonatos resultantes se colocan en un rango de profundidad único con acumulación de oro de 15 a 20 km hasta el entorno cercano a la superficie (Groves et al., 1998). Es común encontrar minerales distintivos tales como albita, mica blanca, fucsita, clorita, scheelita y turmalina como fases de ganga en venas presentes en rocas de facie esquistos verde.

Los depósitos de oro orogénico exhiben fases de alteración, la configuración mineralógica dentro de estas zonas depende del tipo de roca huésped y del nivel de la corteza, los más comunes son carbonatos incluyendo ankerita, dolomita y calcita, aunado a lo anterior, también se encuentra sulfuros que incluyen pirita, pirrotina o arsenopirita. En casos donde se presenta metasomatismo alcalino se tiene una implicación directa de la sericitización y con menor frecuencia formación de fuchsita, biotita, feldespato potásico, albita y los minerales máficos se hallan cloritizados.

La mayoría de los depósitos de oro en terrenos metamórficos se encuentran adyacentes a zonas de fallas de la corteza profunda de primer orden, que muestran historias estructurales complejas y pueden extenderse a lo largo del rumbo por cientos de kilómetros, ejerciendo fuerte control sobre la mineralización (figura 2). La migración de fluidos a lo largo de estas zonas es impulsada por episodios de grandes fluctuaciones de presión durante los eventos sísmicos (Goldfarb et al., 2005).

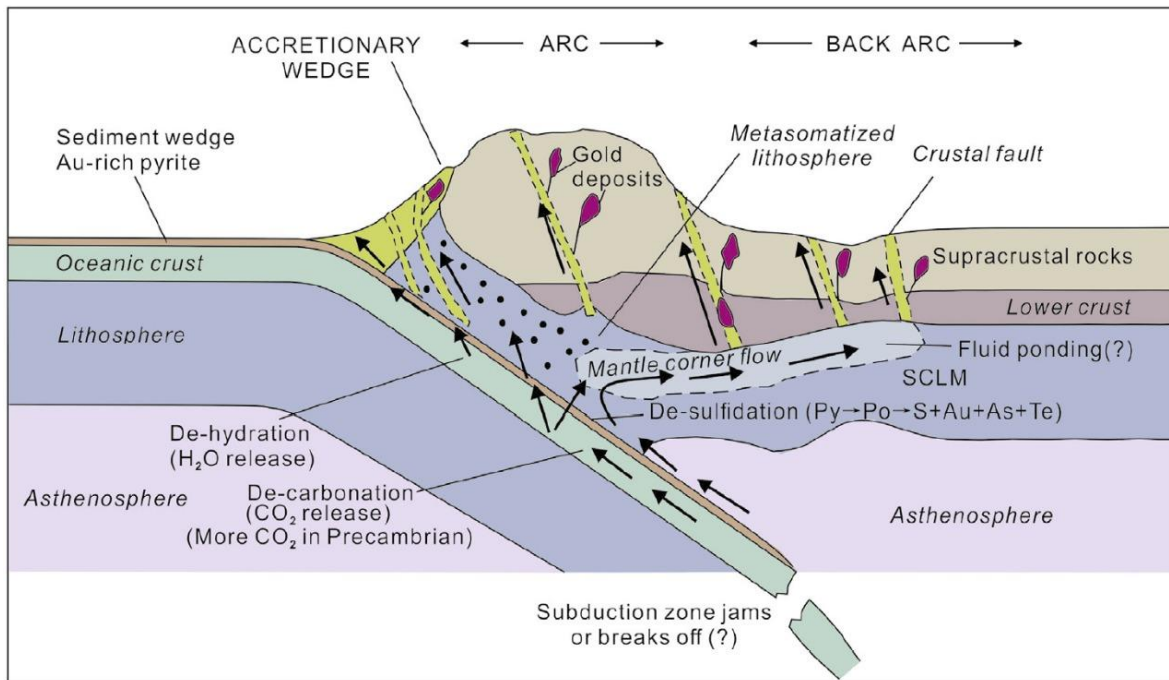


Figura 2. Esquema generalizado del ambiente tectónico de un depósito de oro orogénico (Groves, 2020)

Las estructuras de control en zonas de cizalla son comúnmente de naturaleza dúctil-frágil exhibiendo inclinaciones de ~ 50° y 80° (Sibson et al., 1988), pero pueden presentar variaciones e.g.: 1. Fallas frágiles que varían a zonas de cizallamiento dúctiles con movimiento inverso de ángulo bajo a ángulo alto y movimiento de deslizamiento oblicuo, 2. Conjuntos de fracturas, redes de stockwork o zonas de brechas en rocas competentes, 3. Zonas foliadas y finalmente 4. Zonas de charnela en secuencias turbidíticas dúctiles. Estas estructuras mineralizadas, mencionadas anteriormente tienen pequeños desplazamientos sin y post-mineralización, pero los depósitos de oro comúnmente tienen una extensa continuidad descendente de cientos de metros a kilómetros (Groves et al., 1998).

Gracias a que los depósitos de oro están relacionados a estas zonas de cizalla de gran escala es común encontrar estructuras típicas de este estilo estructural, diferentes a las mencionadas anteriormente, tales como colas de caballo, fallas ramificadas, estructuras en

flor y wings cracks. Las características cinemáticas y geometrías de estas estructuras suelen poseer patrones similares a escalas microscópicas hasta regionales (Kim y Anderson, 2006).

La evolución estructural y la geometría de los orógenos se encuentran relacionada con los entornos de la corteza que permiten que los fluidos migren y se concentren en sitios favorables para la precipitación del oro. En este caso la geología estructural se posiciona como una herramienta integral en cuestiones de exploración, la compresión tectónica y estructural evidencian datos sólidos del momento en que se forman los depósitos (Groves et al., 2003), evidenciando así la posible reactivación de estructuras preexistentes desarrolladas durante los eventos de deformación previas a la precipitación o cambio en el régimen tectónico e.g cambio de un régimen de compresión a transpresión (Groves et al., 2018).

## **5. Antecedentes**

En la mina El Gran Porvenir del Líbano se han realizado pocas investigaciones geológicas, tales como el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el proyecto de explotación de oro de la Licencia N.º CCC-111 (2006) que el área que ocupa la mina está conformada por esquistos negros con rumbos NE (70-80°) y buzamientos de aproximadamente 60° que muestran vetas de cuarzo aurífero de 0.5-1.5m concordantes con la foliación (N50E). Desde un punto de vista metalogénico La Mina el Gran Porvenir se encuentra en la Franja Tolima-Huila en la provincia central Andina, específicamente en el distrito minero Au – (Ag) (López-Isaza et al., 2018) o distrito minero Santa Isabel-Líbano en términos de Leal-Mejía (2011).

El primer estudio de caracterización mineralógica fue realizado por Márquez (2007), allí determinó que, de manera general, el mineral de mena predominante de la veta es la galena (50%), seguido de la pirita (30%) y esfalerita con (15%). En cuanto a minerales accesorios encontró tetraedrita (2%) calcopirita (2%) pirrotina (1%), y oro asociado principalmente con



galena, presentándose en forma de inclusión bifásica o acompañándola en fracturas, y en menor medida asociado a pirita y esfalerita. Posteriormente, otros trabajos caracterizan la composición mineralógica del depósito y señalan de mayor a menor abundancia la presencia de pirita, galena, esfalerita, calcopirita, pirrotina y malaquita, además encuentran scheelita. (Ramírez, 2014; Ange y Betancur, 2018).

La mineralización se encuentra emplazada en esquistos grafitosos y verdes pertenecientes al Complejo Cajamarca (figura 4) compuestos principalmente de cuarzo, plagioclasa, clorita, carbonatos, epidota, moscovita, actinolita, esfena y pirita diseminada (Ramírez, 2014; Duran, 2018) además, Ramírez (2014) reporta diques aplíticos con espesores no mayores a 2m, estos se encuentran paralelos a las vetas mineralizadas, pero en ocasiones estas los cortan.

Según el EIA (2006), la geología estructural de la zona es espejo de grandes sistemas de fallas como la Falla Mulato y Palestina que son estructuras regionales dirección N-S y con buzamiento hacia el occidente. Localmente, el depósito es controlado por la Falla El Toro (Ramírez, 2014) o La Chucula (Duran, 2018), esta falla presenta un rumbo N330°W, y es interpretada como satélite a la falla de Palestina. Las vetas son paralelas a los ajustes regionales, además estos cuerpos vetiformes se disponen localmente con morfología en camándula o pinch and swell (Ramírez, 2014; Castillo, 2016; Durán, 2018).

Interpretaciones paragenéticos documentan 4 eventos mineralización en la mina el Gran Porvenir, el primero se caracteriza por la inyección de grandes volúmenes de cuarzo, pirita cúbica, scheelita y carbonatos. El segundo evento presenta vetas en bandas con cristalización de wolframatos, carbonatos, pirita y esfalerita. El tercer evento de mineralización representa la deposición tardía de oro acompañada de sulfuros como pirita, esfalerita, galena, calcopirita, arsenopirita y pirrotina. Por último, El cuarto evento de

mineralización se caracteriza por plata nativa, pirita, esfalerita rica en cadmio y galena (Durán, 2018; Bedolla, 2018).

La mina el Gran Porvenir fue clasificado como un depósito relacionado con intrusiones ígneas, debido a la presencia de múltiples cuerpos asociados al Batolito el Bosque en la franja de interés metalogénica Tolima-Huila (Leal-Mejía 2011; López-Isaza et al., 2018). Estudios posteriores lo reclasifican como depósito de oro orogénico, basados principalmente en la aparición de scheelita, el control estructural asociado a zonas de cizalla, datos de geoquímica y alteración hidrotermal (Ramírez, 2014; Duran, 2018; Bedolla, 2018; Angée y Betancur, 2018)

## **6. Metodología**

La metodología de este proyecto se puede diferenciar en cuatro etapas que son: (1) revisión bibliográfica, (2) campañas de campo y laboratorio, (3) digitalización y procesamiento de datos, (4) integración de información y construcción del modelo tridimensional. (Figura 3)

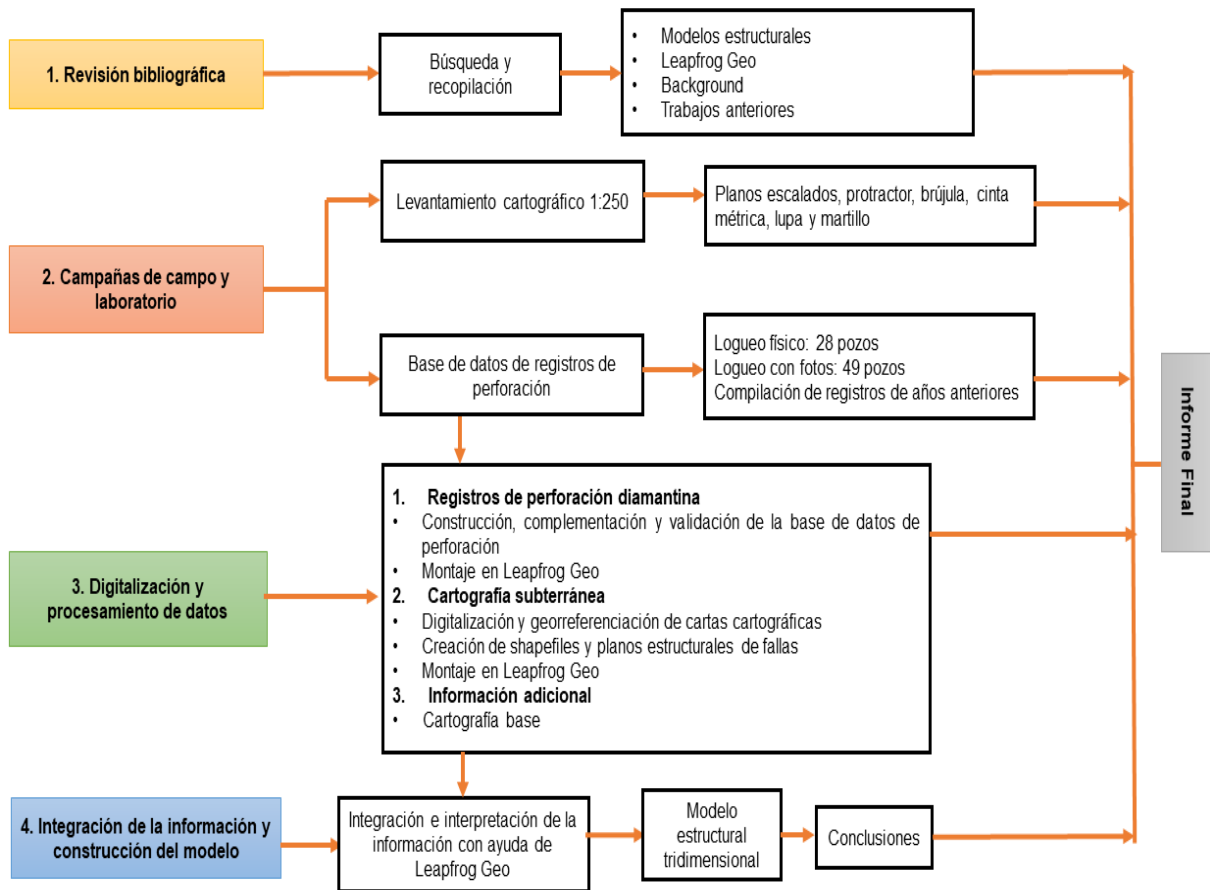


Figura 3. Flujodiagrama metodológico en la presente investigación

### 6.1. Revisión bibliográfica

Se realizó una búsqueda y recopilación de información que se constituya como el fundamento teórico del trabajo, que sea relevante para el entendimiento del área de estudio y, además, aquel conocimiento necesario para el desarrollo del proyecto, es decir, trabajos sobre caracterización de depósitos minerales, modelos estructurales en depósitos metálicos, modelamiento geológico y estructural, Leapfrog Geo V4.0 By AranzGeo, generalidades de la zona, entre otros. Algunos de los trabajos más relevantes son: Leal-Mejía (2011), Birch (2014), Ange y Betancur (2018), Groves (1998) y Durán (2018)

## **6.2. Campañas de campo y laboratorio**

Se realizaron unas salidas de campo con duración de 15 días entre los meses de febrero y marzo del 2021, en las cuales se generó una cartografía subterránea escala 1:250 en cerca de 5500m tunelería comprendidos en las guías y sobreguías más representativas del depósito. En esta cartografía se buscó representar la geometría de estructuras presentes con énfasis en vetas, diques y fallas, incluyendo descripción litológica cualitativa, medición de espesores reales y aparentes, además, descripción de fallas (rumbo, buzamiento y cinemática). Cabe mencionar que los límites superiores e inferiores de la estructura se proyectaron al techo del túnel con el objeto de ser representados en los planos escalados de cada sector.

En laboratorio, se realizó el registro o “logueo” litológico y de estructuras de 5200m de perforación representados por veintiocho (28) pozos que fueron perforados a lo largo del año 2020-2021 y están ubicados espacialmente dentro del área de interés. En este registro se discriminó información de diferentes litologías y estructuras donde se describió: profundidad inicial, profundidad final, longitud, ángulo del núcleo, tipo de litología, tipo de estructura y una descripción mineralógica y estructural generalizada del tramo.

Debido a una pérdida de información de pozos antiguos, se hizo necesario desarrollar un “logueo” a través de 1355 fotografías correspondientes a cuarenta y cuatro (44) sondajes diamantinos con un total cercano a los 11000m de cilindros de roca, describiendo de igual forma, la información de estructuras y litologías principales. (Tabla 1).<

Tabla 1. A) Perforaciones logueadas en laboratorio; B) Representa las perforaciones logueadas a través de fotografías.

A)		B)	
		<i>Drillhole_ID</i>	<i>Drillhole_DEPTH</i>
		SP-11-DH-00	71.4
		SP-11-DH-01	51.9
		SP-11-DH-02	85.2
		AET-001	267.3
		AET-002	210.3
		AET-003	134.1
		AET-004	307.8
		AET-005	306.3
		AET-006	330.7
		AET-007	457.2
		AET-008	411.5
		AET-009	470.9
		AET-010	277.4
		GP-11-DH-00	269.9
		GP-11-DH-01	340.7
		GP-11-DH-02	100.5
		MGP-2010-01	75.1
		MGP-2010-02	47.7
		MGP-2010-03	65.1
		MGP-2010-04	44.9
		MGP-2010-05	131.8
		MGP-2011-06	66.9
		MGP-2011-07	47.6
		MGP-2011-08	27.3
		MGP-2011-09	59.2
		MGP-2011-13	100.6
		EGP-15-DH-04	342
		DHP-002	250
		DHP-004	342
		DHP-005	119
		DHP-006	221.5
		DHP-007	235
		DHP-008	59.5
		DHP-009	251.5
		DHP-010	350.1
		DHP-011	400.2
		DHP-012	350.45
		DHP-013	384
		DHP-014	202.15
		DHP-015	452.4
		DHP-016	639.8
		DHP-017	605.5
		DHP-018	602.9
		DHP-019	575
<i>Drillhole_ID</i>	<i>Drillhole_DEPTH</i>		
SP-20-DH-003	226		
SP-20-DH-004	157		
SP-20-DH-005	234.3		
SP-20-DH-006	210		
SP-20-DH-007	245.7		
SP-20-DH-008	229.1		
SP-20-DH-009	138.2		
SP-20-DH-010	208.7		
SP-20-DH-011	237		
SP-20-DH-012	279.4		
SP-20-DH-013	251.6		
SP-20-DH-014	307		
SP-20-DH-015	185.5		
EGP-19-DH-102	206		
EGP-20-DH-103	70.5		
EGP-20-DH-104	189.5		
EGP-20-DH-105	221.25		
EGP-20-DH-106	302		
DHU-24	120.2		
DHU-25	72.3		
DHU-26	92.7		
DHU-27	121.5		
DHU-28	102.3		
DHU-29	99.5		
DHU-30	100.5		
DHU-31	138.4		
DHU-32	110.9		

### 6.3. Digitalización y procesamiento de datos

En este apartado se requirió hacer modificaciones a la información generada con el propósito de importarla al programa de modelamiento. Esto se aplicó tanto a la información de registros de perforación como a la cartografía subterránea.

En cuanto a los *registros de perforación* con cerca de 28.000 metros perforados, se recopiló, modificó y adaptó la información de logueos de perforaciones diamantinas de años anteriores al 2020 y se añadió la información generada en los logueos en laboratorio y a través de fotografías para construir una base de datos unificada que consta de cuatro (4) archivos delimitados por comas (.csv) necesarios para la representación tridimensional de dichas perforaciones dentro de la interfaz del programa. Estos archivos son: (1) collar.csv que comprende el ID del pozo, la ubicación espacial en términos de x, y, y z; así como la profundidad del mismo, (2) survey.csv que incluye la profundidad, dirección y ángulo de inclinación del sondaje, también, se puede incluir información de las desviaciones de pozo si estas fueron medidas, (3) lithology.csv que involucra la descripción y codificación del logueo litológico y de estructuras, especificando, la profundidad inicial, final y longitud del tramo descrito, por último, (4) assay.csv que contiene los resultados de tramos de muestreos a lo largo del pozo con su respectiva descripción mineralógica, codificación, profundidad inicial, final y longitud del tramo muestreado, sin embargo, para el enfoque de este proyecto no se tuvieron en consideración. Todos los archivos poseen un “origen” en común que corresponde a la identificación del pozo (ID) permitiendo, de esta manera, que toda la información contenida en los diferentes archivos se vincule y se integre a un solo elemento (tabla 2).

La *cartografía subterránea* se digitalizó, georreferenció y se transformó a formato .tiff para importar estos archivos a la interfaz de Leapfrog Geo con su respectiva información espacial. En algunos casos se hizo necesario crear shapefiles.shp del techo y piso de la veta (concordante con la cartografía) con el uso de AutoCAD 2021 para facilitar el proceso de modelado. Respecto a la información de las fallas, se procesaron de forma similar a los registros de perforación para representarlas como planos y construir discos de tendencias estructurales dentro del modelo. Información adicional como el ploteo de los datos

estructurales en OnlineStereonet y la cartografía base de la zona son también incluidos.

Todo lo anterior se validó y depuró para el montaje dentro de la interfaz de trabajo.

Tabla 2. Construcción de la base de datos de perforación. Incluye en orden los archivos collar.csv, survey.csv, lithology.csv y assay.csv.

<i>Drillhole</i>	<i>East</i>	<i>North</i>	<i>Elev</i>	<i>Depth</i>
EGP-14-DH-12	284,24	845,72	1626,64	117,5
EGP-14-DH-13	282,22	845,06	1626,74	130

<i>Drillhole</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Azimet</i>	<i>Dip</i>	<i>Depth</i>
EGP-14-DH-12	0	117,5	144,32	66,56	117,5
EGP-14-DH-13	0	130	196,73	59,1	130

<i>Drillhole</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Lenght</i>	<i>Rock type</i>	<i>Description</i>
DHU-30	82	82,95	0,45	VEIN	Qz w/ DCA...
DHU-30	82,95	100,5	17,55	BSCH	Schellita w/...









<i>Drillhole</i>	<i>Sample</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Lenght</i>	<i>Au ppm</i>	<i>Ag ppm</i>	<i>Description</i>
DHU.19	104458	140,85	141,3	0,45	5,2	52,6	Qz w/ Py+...
DHU-19	104459	144	144,35	0,35	4,4	48,2	Qz+BSCH w/

#### 6.4. Integración de información y construcción del modelo

Por último, se anexó a la interfaz de Leapfrog Geo toda la información compilada. En primera instancia, se realizó el montaje de la base de datos de las perforaciones diamantinas comprendidas en los archivos Collar.csv, Survey.csv, Lithology.csv y Assay.csv (opcional) con la herramienta “Drillhole Data”; una vez representados tridimensionalmente los sondeos, se validaron los errores, se depuraron las codificaciones de las litologías empleadas agrupándolas y recodificándolas i.e.: para hacer referencia al

esquisto negro se encuentran diferentes códigos como “Black schist – BS – Esquisto negro – BSC” por lo que se deben agrupar todos los tramos y universalizar el código de dicha litología.(tabla 3).

Tabla 3.Universalización de códigos y paleta de colores para cada una de las unidades geológicas y estructurales. **DYKE**: Diques aplíticos; **F**: Fallas; **GSCH**: Esquisto verde; **SAP**: Saprolito; **SOIL**: Suelo residual; **V/Z**: Zonas de venillas; **VETA**: Vetas de cuarzo; **BSCH**: Esquisto negro.

	Code	Colour
▶	DYKE	
▶	F	
▶	GSCH	
▶	SAP	
▶	SOIL	
▶	V/Z	
▶	VETA	
▶	BSCH	

Seguidamente, se añade la topografía y la cartografía subterránea (con los planos de fallas) como parte de los insumos para la construcción del modelo con la herramienta “Geological Model”, para ello, se definieron los límites espaciales del bloque a modelar, se filtraron los interceptos con las diferentes litologías y estructuras de interés (vetas, diques, fallas y esquisto) con el objeto de ser agrupadas y vinculadas a la entidad que se generará, teniendo en la cuenta que se debe separar y discriminar entre las mismas si el sistema vetiforme se ramifica. Posteriormente, se crearon las unidades de interés juntos con los lineamientos y fallamientos para que, de este modo, se muestren los bloques estructurales y la distribución de dichas unidades que permite dar inicio al proceso de refinamiento (cambios en espesor, dirección, buzamiento, entre otros) del modelo a través de la cartografía subterránea puesto que se delimita con mayor confiabilidad el “Hangingwall” y



el “Footwall” de las unidades en comparación a aquellas preliminares que resultaron exclusivamente de la información de las perforaciones diamantinas.

## **7. Marco geológico regional**

En Colombia, los Andes del Norte están conformados por tres sistemas montañosos: Cordillera Occidental, Oriental y Central, las cuales son producto de la interacción de procesos de subducción con fases de acreción y colisión al menos desde el paleozoico (Restrepo y Toussaint, 1988; Toussaint, 1995; Cediél et al., 2003; Ordoñez et al., 2006; Vinasco et al., 2006; Pindell et al., 2009 Villagómez et al., 2011; Blanco-Quintero et al., 2014; Bustamante et al., 2017).

La Cordillera Occidental está formada por rocas oceánicas alóctonas de composición máfica y ultramáfica intercaladas con secuencias sedimentarias marinas del Cretácico, intruidas por plutones Cenozoicos (Aspden et al., 1987; González et al., 1988; Kerr et al., 1997; Villagomez et al., 2011). Por otra parte, La Cordillera Oriental comprende un basamento ígneo-metamórfico que alberga granulitas, gneises y anfibolitas de edades Precámbricas y Paleozoicas, intruidas por granitoides Ordovícicos cubiertos por depósitos siliciclásticos del Paleozoico Superior, además, presenta granitoides y rocas vulcano-clásticas del Jurásico que son cubiertas por secuencias sedimentarias marinas del Cretácico y continentales del Cenozoico (Kroonenberg, 1982; Restrepo-Pace et al., 1997; Cordani et al. 2005; ; Sarmiento et al., 2006; Cardona et al., 2006; Ordóñez et al., 2006; Caballero et al., 2010; Spikings et al. 2015; Van der Lelij et al., 2016).

Por último, la Cordillera Central (CC) es limitada al oeste por el sistema de fallas Cauca-Romeral y el sistema de fallas Otú-Pericos al este (Toussaint y Restrepo, 1994; Maya y Gonzalez, 1995). La CC está compuesta por rocas metamórficas de grado medio a alto de edad Pérmica a Triásico Medio que fueron intruidas por rocas magmáticas de tipo S postectónicas en el Triásico Tardío. Estas rocas fueron posteriormente intruidas por rocas

magmáticas Mesozoicas (e.g. Batolito de Ibagué y Antioquia) y Cenozoicas (Maya y González 1995; Vinasco et al, 2006; Leal-Mejía, 2011; Restrepo et al. 2011; Blanco-Quintero et al., 2014; Cochrane et al, 2014; Spikings et al, 2015; Bustamante et al., 2016).

El basamento de CC principalmente comprende rocas metamórficas de edad Paleozoica a Triásica, donde predominan esquistos de bajo a medio grado, intercalado con cuarcitas, anfibolitas y neises alumínicos definidos como Serie Cajamarca (Nelson, 1962), las rocas metamórficas de la cordillera central (Feininger et al., 1972) Grupo Valdivia (Hall et al., 1972) y Ayurá-Montebello (Botero, 1963).

Posteriormente, debido a similitudes texturales, composicionales y genéticas, Maya y Gonzalez (1995) integran y renombran estos grupos de rocas como el Complejo Cajamarca (figura 4) o terreno Tahamí de acuerdo con Toussaint y Restrepo (1994).

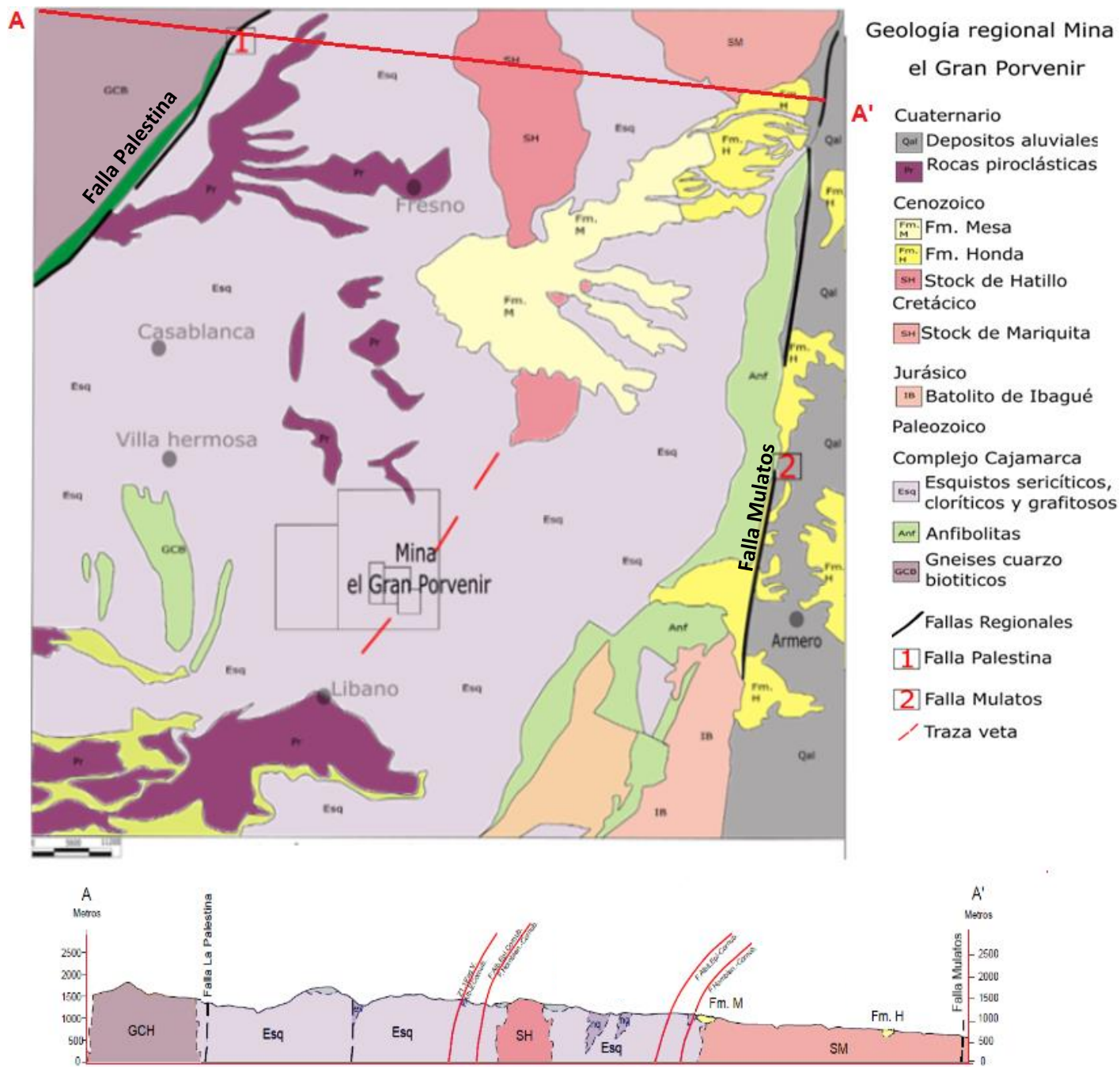


Figura 4. Mapa geológico regional de la mina El Gran Porvenir escala 1:2000. Modificado de Barrero y Vega (1976).

## **7.1. Geología estructural regional**

Regionalmente en el área de estudio existen dos estructuras principales, una predominantemente N-S a N 30°E generalmente con componente inverso relacionada con el piedemonte oriental de la cordillera central, se destacan la falla Palestina, Chapetón - Pericos, Mulatos (figura 4) y otras con tendencia Este-Oeste (N 60° E a E – W) principalmente con componente de rumbo, se destacan las fallas de Ibagué y Cucuana (Núñez, 2001).

### **7.1.1. Falla Palestina**

Es una falla de rumbo dextralateral con dirección entre N10°-30°E, se encuentra desplazando rocas metamórficas cristalinas paleozoicas y plutónicas mesozoicas del basamento de la cordillera central. También, se le asocia los focos la actividad del complejo volcánico Ruiz – Tolima (Paris et al., 2000; Núñez, 2001; González, 2001b; Mejía et al., 2012).

La traza de la falla se encuentra al occidente de la mina el Gran Porvenir en la cordillera central a lo largo de 300km (Fig. 4), presentando expresiones morfotectónicas como escarpes de falla, facetas triangulares, crestas y drenajes desplazados (Paris et al., 2000). De acuerdo con Collins et al., (1981), la falla Palestina presenta evidencias de cambios en la dirección de movimientos, presentando movimiento dextral al menos desde el Paleógeno y sinistral para el Cuaternario.

### **7.1.2. Falla Mulatos**

Esta falla presenta desplazamiento dextralateral, se ubica al oriente de la mina el Gran Porvenir (Fig. 4), y se encuentra limitando la depresión del valle medio-alto del Magdalena con la Cordillera Central, donde controla la acumulación de abanicos aluviales (Feininger et al., 1972, Vergara, 1989). Sus rasgos geomorfológicos no son claros, ya que

posiblemente se encuentran cubiertos o enmascarados por los depósitos cuaternarios asociados a los abanicos de Armero, Mariquita, Guayabal y Lérída (Vergara, 1989).

La traza de la falla mulatos es de N5°E, autores como Vergara (1989) y Núñez (2001) sugieren que esta falla hace parte del sistema Otú-Pericos y se extiende hacia el norte al departamento de Antioquia, además, también sugieren que el desplazamiento inicial de esta falla fue de tipo inverso y cambió a normal después de la acumulación de la Formación Mesa.

## **8. Resultados**

Un total de sesenta y dos (62) hojas cartográficas se generaron de tal modo que estas sean representativas del buzamiento y dirección (Figura 5.A.) Cada hoja cartográfica incluye información geológica y estructural de detalle relacionada a la delimitación geométrica de fallas, diques, vetas y esquistos (Figura 5.B.).

Con la base de datos de perforación se construyó la representación gráfica tridimensional de 170 sondajes diamantinos contemplados en el área del proyecto y discriminando cada uno de los tramos según su descripción y clasificación litológica. (Figura 6).



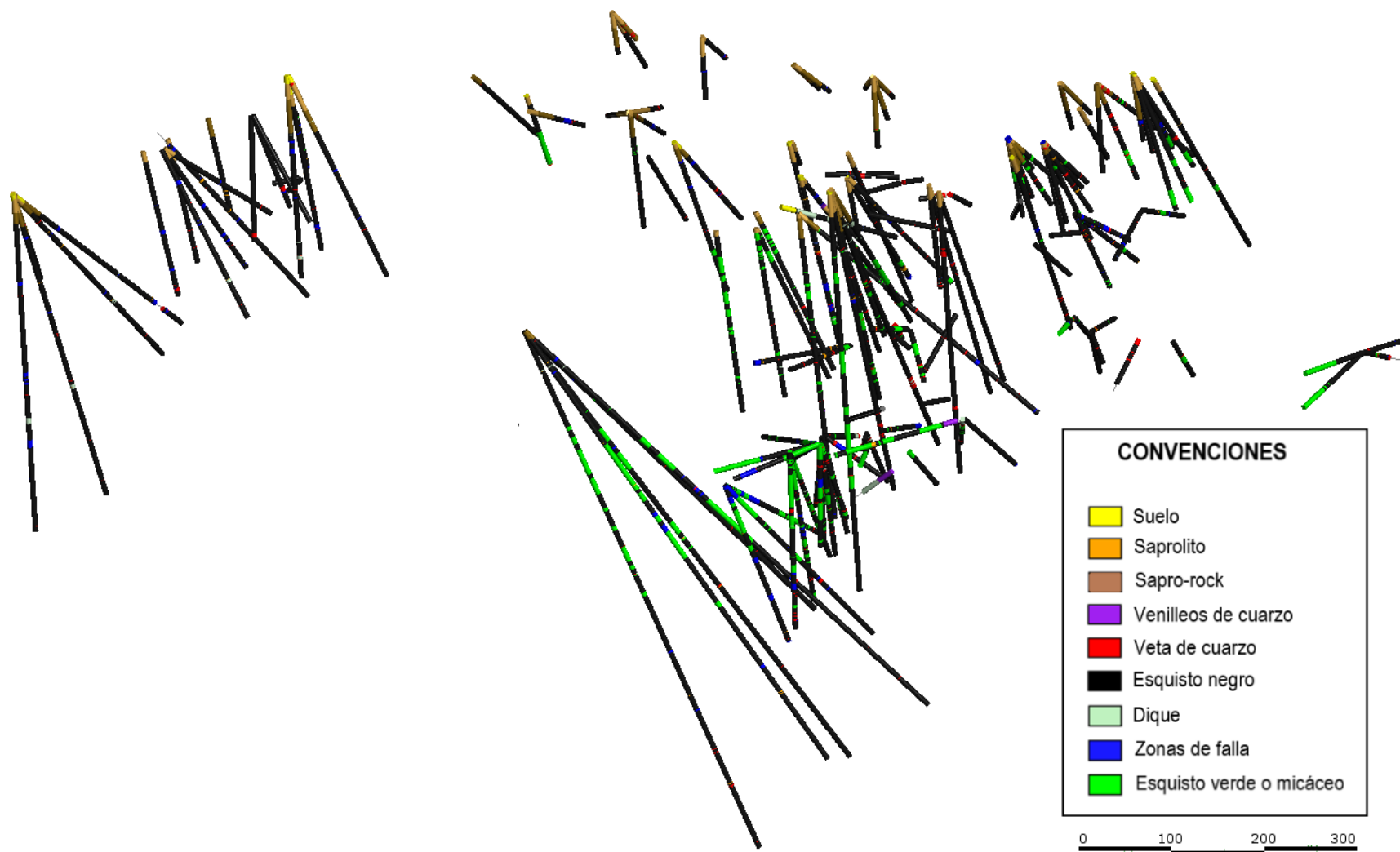


Figura 6. Representación gráfica de las perforaciones diamantinas de la mina El Gran Porvenir.

## **Geología local**

La información obtenida de las perforaciones diamantinas y la cartografía subterránea permitió identificar nueve (9) unidades definidas como suelo, saprolito, “saprock” zona de venillas, veta, dique, falla, esquisto negro y esquisto verde en el área del proyecto El Gran Porvenir.

En primer lugar, se tienen unidades superficiales del perfil de meteorización como el suelo que se reconoce por su coloración café con variaciones a tonalidades naranjas, tamaño de grano areno-limoso y en ocasiones con una capa superior de material orgánico. El saprolito se reconoce por presentar coloraciones ocres a rojizas anaranjadas, tamaño de grano de arena fina a media con vestigios de roca esquistosa completamente reemplazada por minerales secundarios; de forma similar, se tiene la unidad de saprock que se constituye como un saprolito grueso con fragmentos de esquisto negro, verde y cuarzo desde lechoso a grisáceo. Presenta oxidación generalizada.

La litología subyacente a estos depósitos hace referencia a esquistos negros y, en menor proporción, esquistos verdes donde los primeros poseen un grado medio de fracturamiento, foliación marcada al occidente con un ángulo cercano a los 50° y que posee variaciones locales gracias a plegamientos simétricos, asimétricos, parasíticos y “kink bands” (Figura 7.D.) que van desde escasos milímetros hasta metros; la unidad exhibe lentes de cuarzo grisáceo budinados y microfallados (Figura 7.A, 7.E.) de hasta 10cm alargados en la dirección de la foliación, con estructuras “pinch and swell” (Figura 7.B.) y en ocasiones milonitizados donde también se encuentra pirita cúbica fina a gruesa, diseminada y como parches irregulares. Fracturas de hasta 1cm de espesor rellenas por carbonatos y cuarzo (Figura 7.D.) discordantes a la foliación son también comunes junto a alteraciones como carbonatación (Figura 7.H.) y silicificación son más evidentes en tramos cercanos a los



interceptos con la veta mineralizada donde se observa cuarzo recrystalizado, calcita y ankerita y clorita en especial en los contactos del cuarzo con el esquisto. Por otra parte, el esquisto verde se muestra como intercalaciones milimétricas hasta métricas dentro del esquisto grafitoso (Figura 7. C.) con menor contenido de venillas de cuarzo y pirita que siguen la foliación. En zonas de alta oxidación se encuentra minerales como hematita y limonita (Figura 7.F y 7.G.).

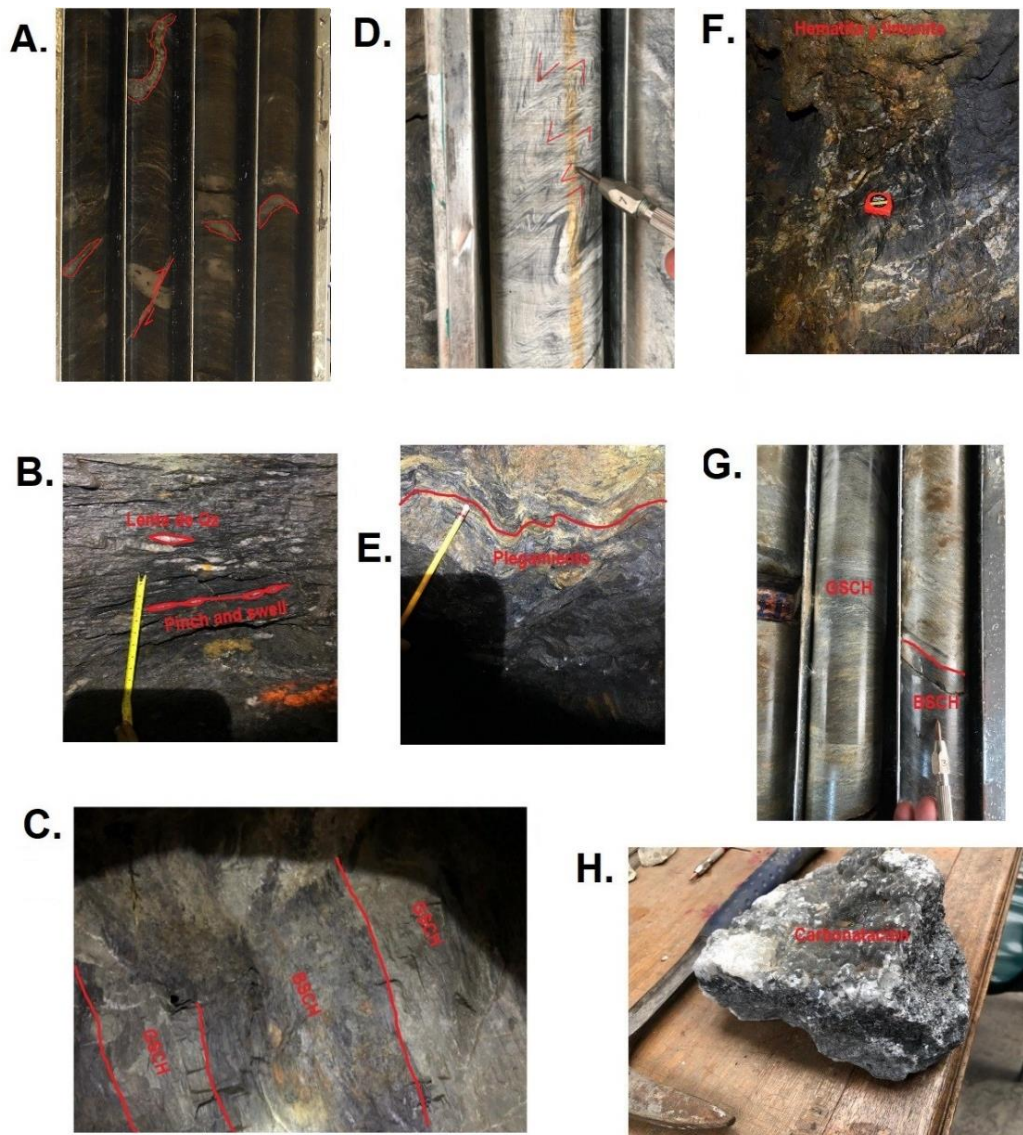


Figura 7. A). Núcleo de perforación mostrando lentes de Qz gris, fracturas rellenas de carbonatos y microfalla inversa; B). Estructura pinch and swell; C). Intercalación de

esquistos negros y verdes; D). kink bands en esquistos negros; E). Plegamiento en esquistos; F). Limonita y hematita; G). núcleo de perforación con intercalación de esquistos verdes y negros; H). Esquisto negro con carbonatación.

Por otro lado, en cercanías a las zonas de interceptos de la veta se encuentran zonas de venillas (V/Z) dispuestas aleatoriamente y en arreglos geométricos (stockwork) (Figura 8.A; 8.B; y 8.C.) intercaladas con esquisto negro muy deformado con sulfuros como pirita cúbica y diseminada en fracturas, en algunos casos, galena como agregados cúbicos.

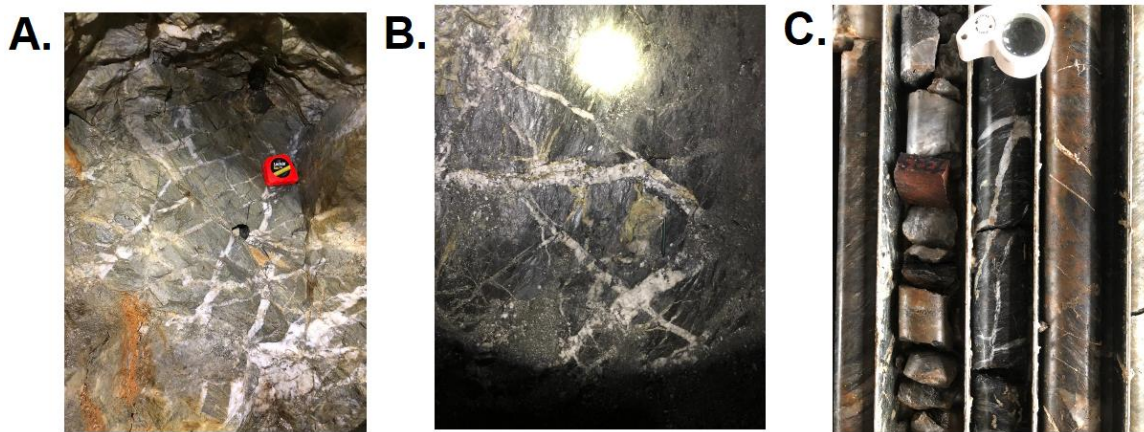


Figura 8. A) Stockwork en esquistos verdes; B) Esquistos negros con stockwork; C). Stockwork en logueo de esquisto negro.

En la zona se encuentran una serie de diques de composición félsica con espesores que varían desde 0.1m hasta 3m en los que se observa textura porfídica y tonalidades ocre a verdosas (Figura 9.A. y 9.B.); presenta pirita (<1%) cúbica muy fina y a veces diseminada en fracturas, láminas de fuchsite hasta 2.5mm (Figura 9.C.), pirolusita en fracturas, y alteración pervasiva a epidota y arcillas producto de plagioclasas. Estos diques cortan los esquistos (Figura 9.F.) y se emplazan paralelos a las venas mineralizadas con relaciones de corte inconcluyentes (Figura 9.D. y 9.E.).

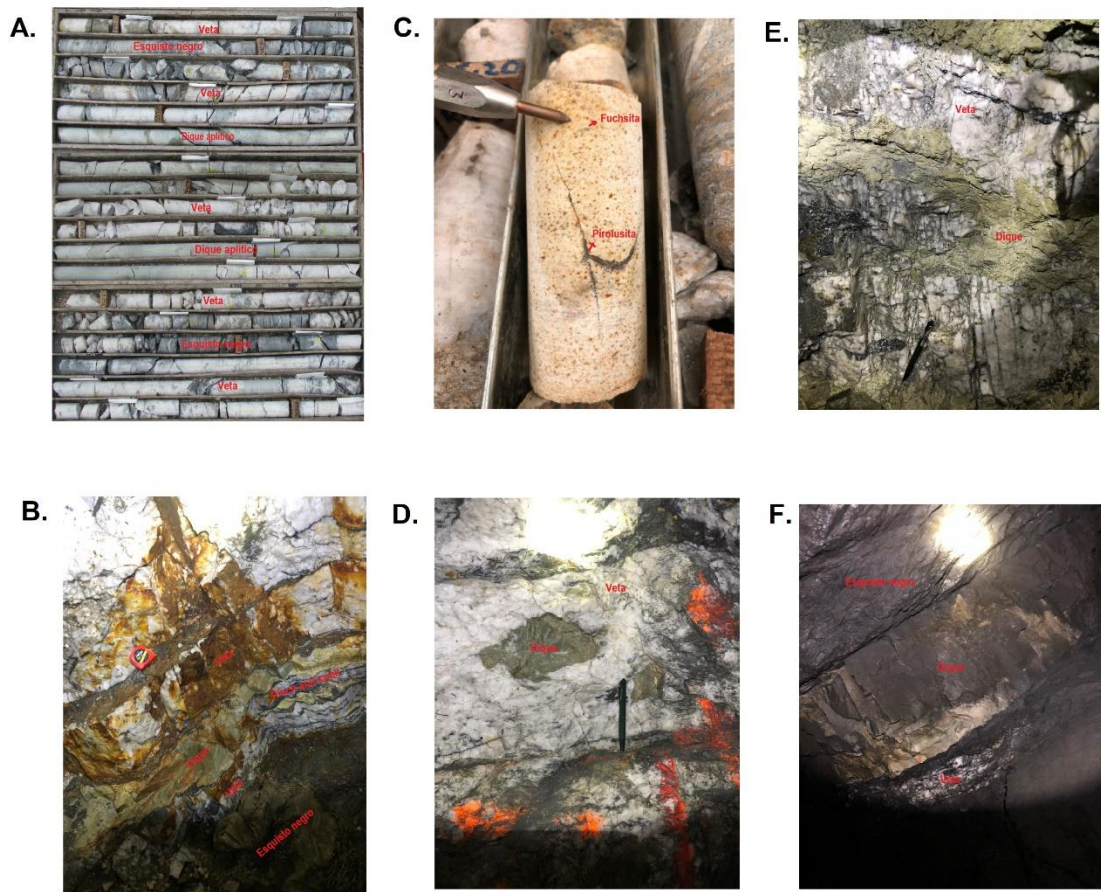


Figura 9. A). Logueo donde se observan esquistos negros y verdes, dique aplítico y las vetas de cuarzo; B). Dique paralelo a la veta; C). Logueo de dique donde se observa fuchisita; D). Dique embebido en veta de cuarzo E). Dique dispuesto en planos de fractura de veta de cuarzo F). Dique cortando esquistos negros

Las vetas de cuarzo están emplazadas en los esquistos del Complejo Cajamarca, son de tipo lechoso a ligeramente traslúcidos con texturas masivas, bandeadas (Figura 10.H.), brechadas y drusiformes, tienen espesores de hasta 12m, una dirección preferencial de 020 con algunas variaciones desde 0 hasta 45° y con buzamientos desde 35 hasta 60° hacia el suroeste. Presenta minerales en orden de abundancia como galena, pirita, esfalerita, calcopirita (Figura 10.B.), pirrotina (Figura 10.F.), scheelita (Figura 10.G. y 10.I.), covelina (Figura 10.C.), bornita (Figura 10.D.), estibina (Figura 10.E.) y marcasita (Figura 10.K.).



Localmente se observa como alteración hidrotermal carbonatación y sericitización en especial en los contactos esquisto – veta siendo más dominantes la primera.

Los tipos de cuarzo masivo y drusiforme (Figura 10.K. y 10.L.) a oqueroso presentan muy bajo contenido de sulfuros donde es más común encontrar granos individuales de pirita cúbica a diseminada, ocasionalmente, se tienen enriquecimientos de galena, pirita y en menor proporción esfalerita como parches y agregados en cercanías a fracturas o en los límites con el esquisto, generalmente presenta espesores mayores a 1m y está íntimamente vinculado, en términos espaciales, al dique aplítico aunque sin relaciones de corte claras pues aparecen anastomosados entre sí. Los cuarzos bandeados a brechados (Figura 10.J.) poseen mayores contenidos de sulfuros (galena, pirita y esfalerita) (Figura 10.A.) dispuestos como bandas de escasos centímetros a caóticos respectivamente. Las zonas de alto espesor, de enriquecimiento en sulfuros e intenso diaclasamiento tienden a coincidir con zonas afectadas por fallamiento.

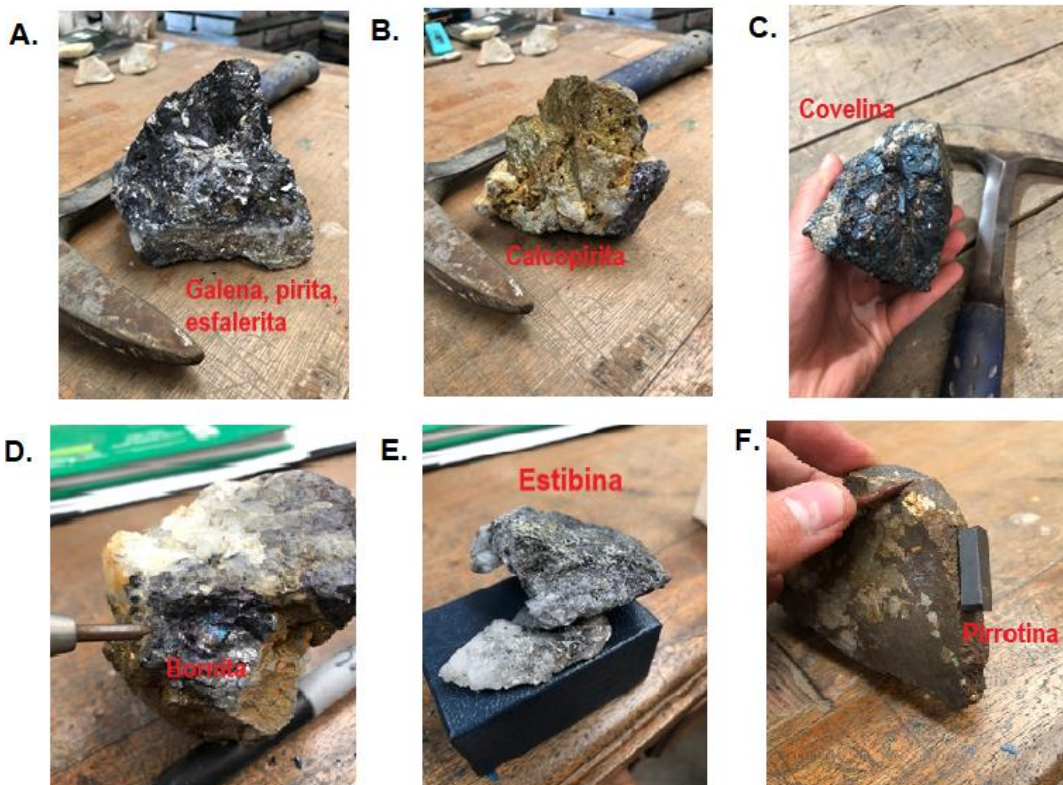




Figura 10. Se observan minerales accesorios comunes en el depósito; A). Galena, pirita y esfalerita; B). Calcopirita; C). Covelina; D). Bornita; E). Estibina; F). Pirrotina; G). Sheelita en veta de cuarzo; H). Veta de cuarzo con esquisto negro bandeado; I). Logueo de esquisto negro y veta de cuarzo con sheelita; J). Cuarzo brechado en logueo; K). Marcasita; L). Cuarzo drusiforme.

### Geología estructural local

En el área de estudio, el dique y las vetas de cuarzo muestran indicadores cinemáticos como pliegues de arrastre, lentes de cuarzo budinados y diaclasas sigmoidales, además, en los respaldos de estos mismos elementos se exhiben “slickenfibers” de cuarzo y calcita en la pared occidental. (Figura 11)



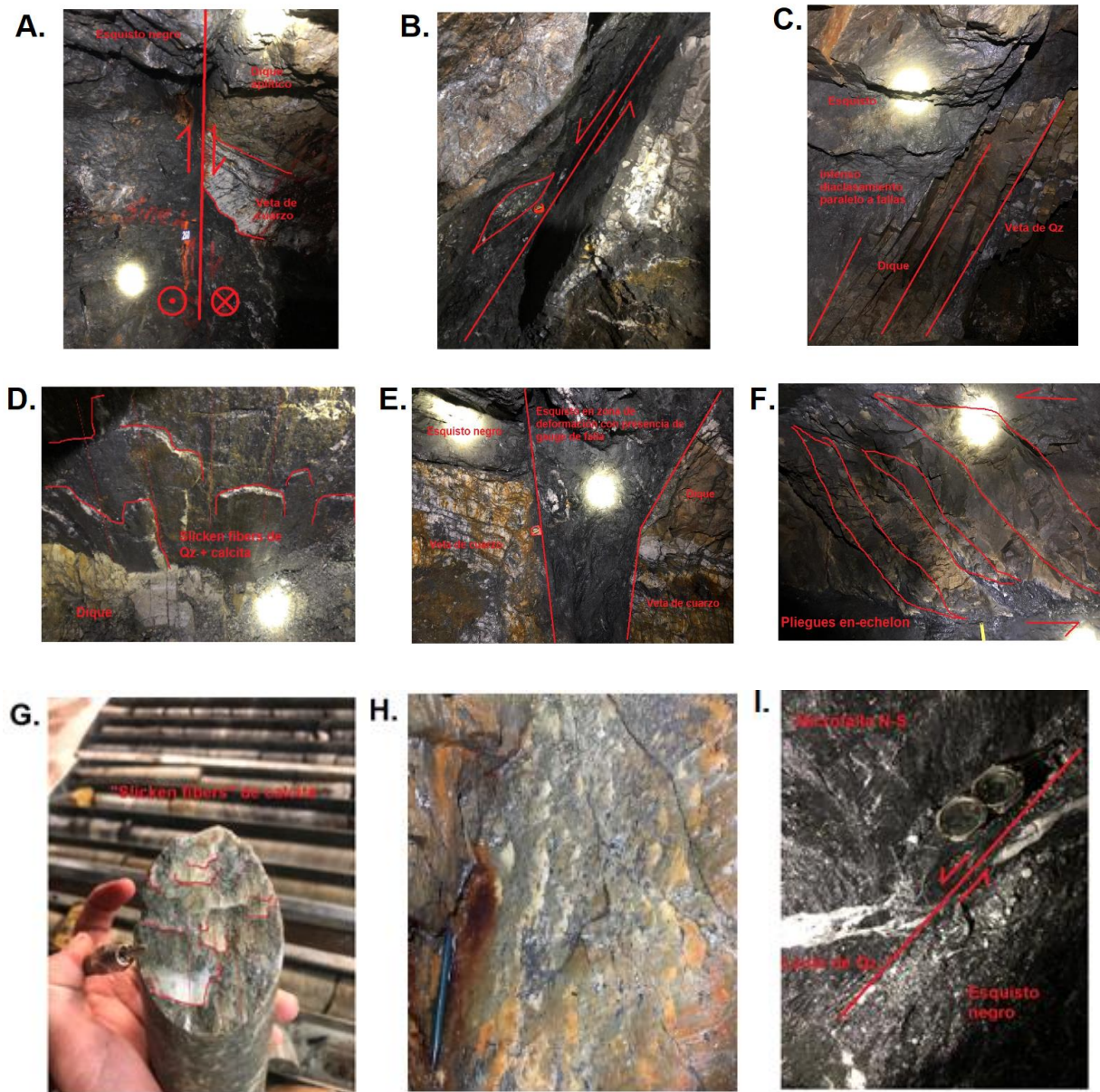


Figura 11. **A.** Típica falla NW donde se evidencia la cinemática normal en los pliegues de arrastre del bloque derecho; **B.** Falla normal con porfiroblasto de cuarzo brechado y budinado; **C.** Intenso diaclasamiento en dique aplítico cercano a falla NW; **D.** "slicker fibers" de cuarzo y calcita en la pared occidental de los túneles; **E.** Falla NW con relleno de esquisto negro y gauge de falla; **F.** Diaclasas dispuestas en sigmoides; **G.** "slicker fibers" de calcita en núcleo de roca; **H.** "slicker fibers" asociados a cinemática de falla tipo NW; **I.** Microfalla de escala centimétrica mostrando cinemática sinistral en fallas tipo N-S.

Cuatro grupos de fallas (Figura 12.A. y 12.B.) se encuentran afectando las unidades rocosas y son fácilmente diferenciables en la red estereográfica y el diagrama de rosetas. Se identifica un primer grupo de 60 mediciones de fallas (color verde) con dirección y buzamiento promedio de  $325/73^\circ$  hacia el SW, otro grupo conformado por 18 mediciones de fallas (color naranja) con dirección y buzamiento promedio de  $255/66^\circ$  al N, un tercer grupo constituido por 13 mediciones de fallas (color azul) con dirección y buzamiento promedio de  $185/77^\circ$  hacia el E y, por último, un grupo de 6 mediciones de fallas (color rojo) con dirección y buzamiento promedio de  $213/71^\circ$  hacia el NW y SW.

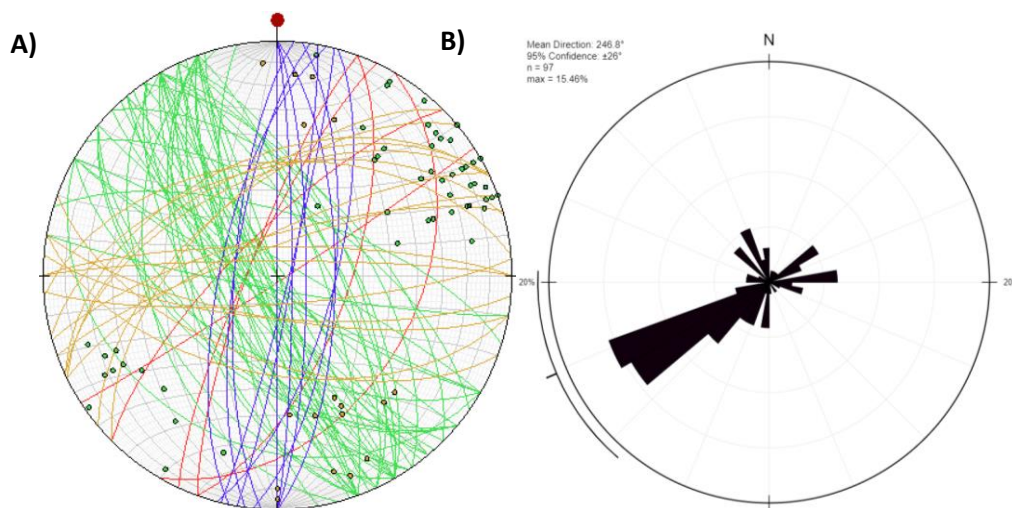


Figura 12 A). Red estereográfica de los 4 grupos de fallas encontrados en la mina el Gran Porvenir; B). Diagrama de rosas donde se evidencian las direcciones de buzamiento principales de las fallas.

La primera y con mayor influencia de estas es el grupo de fallas NW (Figura 13 .A. y 13 .B.) que presentan direcciones entre  $300^\circ$  a  $340^\circ$  y buzamientos de alto ángulo superiores a los  $70^\circ$  hacia el SW y en menor proporción hacia el NE con saltos de falla desde escasos centímetros hasta 12m evidentes gracias a dislocaciones en las vetas y en los diques que pueden llegar a presentar indicadores cinemáticos como estrías de falla, “slickenfibers”, pliegues de arrastre y estructuras en-échelon (Figura 11.A, 11.E. y 11.H.) que permiten

inferir un movimiento en el componente vertical de tipo normal (sube el bloque SE) y en el componente horizontal de tipo sinistral; afecta todo el depósito y condiciona en gran medida los enriquecimientos de sulfuros, la distribución espacial y la geometría de los cuerpos mineralizados.

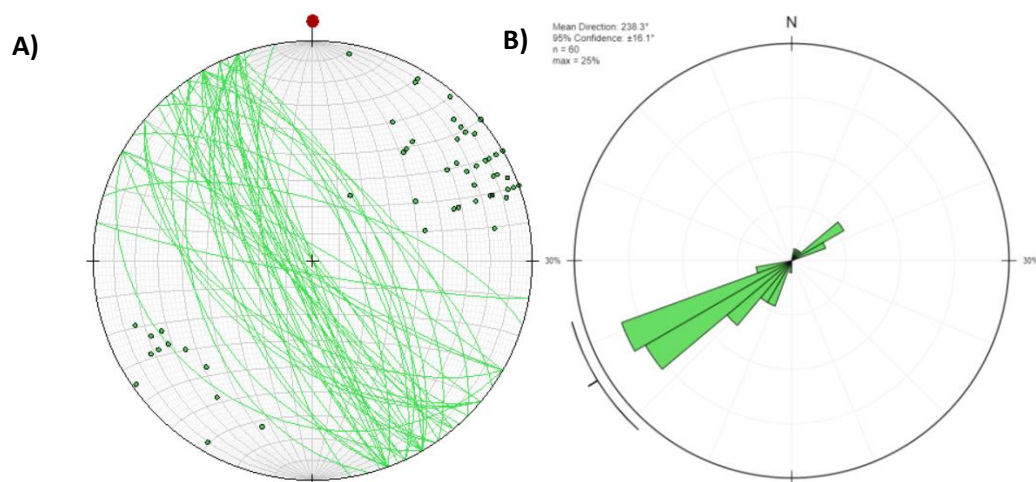


Figura 13. A). Red estereográfica de fallas con tendencia NW; B). Diagrama de rosas donde se evidencian buzamientos al SW principalmente.

El grupo de fallas E – W (Figura 14.A. y 14.B.) con direcciones que varían desde 230 hasta 290° con buzamientos superiores a 50° hasta 85° hacia el NW con algunas mediciones al presenta saltos de falla de hasta 4m que se evidencian por dislocaciones a la veta, sin embargo, al igual que las fallas NW, parecen modificar, varios escenarios, la dirección y buzamiento de la veta; el componente horizontal de la falla es de tipo dextral (Figura 11.G.) y se encuentra a lo largo de toda la tunelería. Junto a la falla NW condicionan y dominan los rasgos estructurales más relevantes del depósito donde es común también encontrar un intenso diaclasamiento paralelo a la dirección de la falla en cercanía a estas (Figura 11.C.).



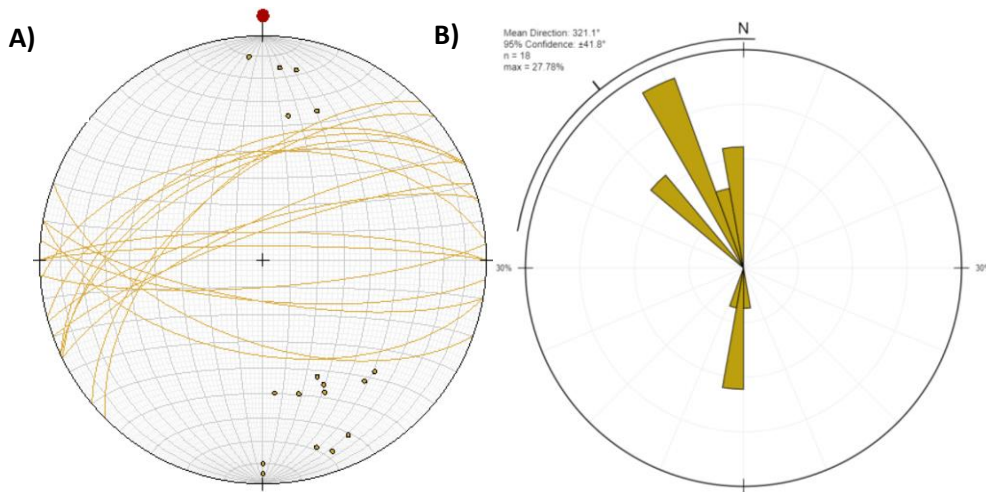


Figura 14. A). Red estereográfica de fallas con tendencia E-W; B). Diagrama de rosas donde se evidencian buzamientos al NW y S principalmente.

Las fallas N – S (figura 15.A. y 15.B.) muestran direcciones que van desde 180 hasta 195° con buzamientos mayores de 70° hacia el E y en menor medida al W con saltos de falla de un par de metros que generan pinchamientos de los diques y vetas del depósito, presentan un componente horizontal de tipo sinistral (figura 11.I.)

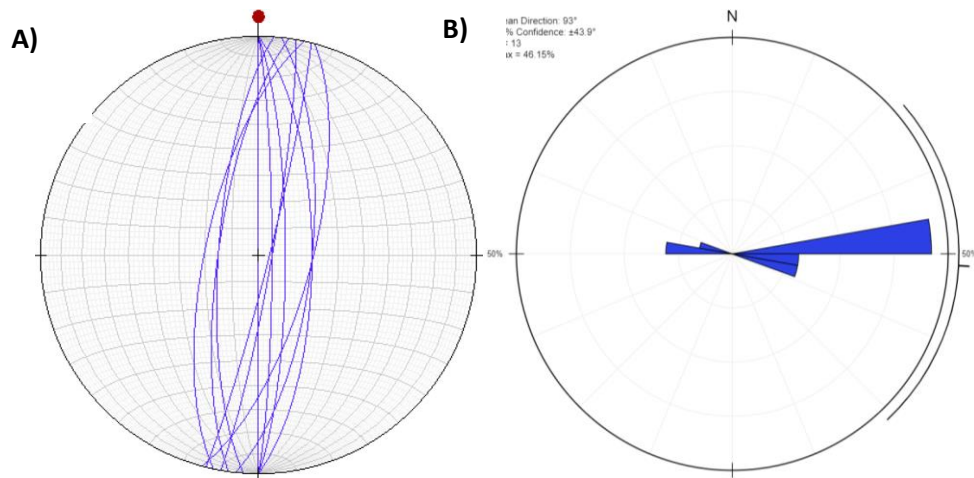


Figura 15. A). Red estereográfica de fallas con tendencia N-S; B). Diagrama de rosas donde se observan buzamientos al E principalmente.

El último grupo de fallas NE (Figura 16.A. y 16.B.) poseen direcciones desde los 200° hasta los 230° con buzamientos de alto grado (aproximadamente 70°) hacia el NW y constituyéndose como una falla de tipo normal – sinistral con saltos de falla de hasta 3m.

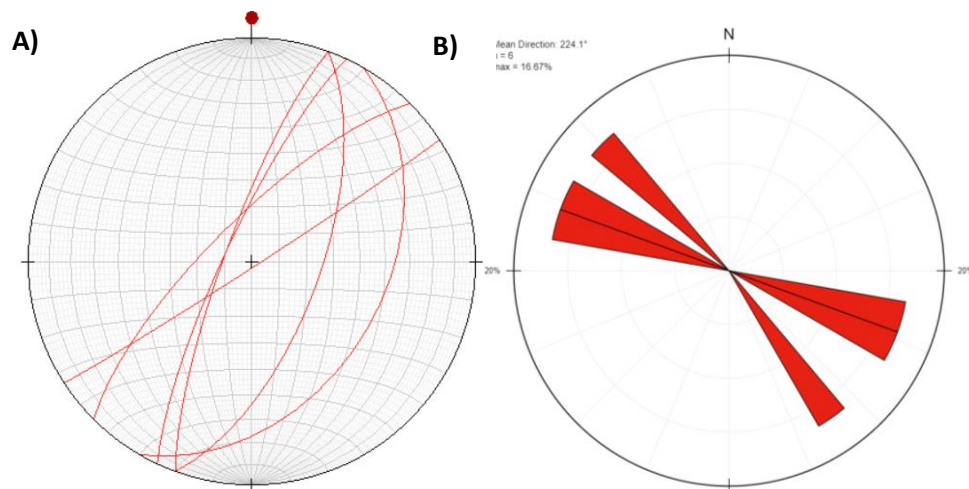


Figura 16. A. Red estereográfica de fallas con tendencia NE; B). Diagrama de rosas donde se observan buzamientos al NW y SW principalmente.

## 9. Discusión

Por medio de la información presentada se propone un modelo geológico – estructural tridimensional del depósito vetiforme en la mina El Gran Porvenir del Líbano integrando los datos de perforaciones diamantinas y cartografía subterránea (Figura 17 y 18)

En la zona de referencia afloran preferencialmente intercalaciones milimétricas a métricas de esquisto negro (grafitoso) y esquisto verde a micáceo con evidencia de una compleja historia tectónica dada por plegamientos simétricos, asimétricos, parasíticos, “kink bands”, fallas, “pinch and swell structures” y tramos milonitizados; en esta unidad conocida como el Complejo Cajamarca, se haya un sistema de vetas cuarzo lechoso a grisáceo con texturas masivas, bandeadas, drusiformes y oquerosas con espesores desde 0.2 hasta 12m dispuestas con una dirección preferencial N20°E, con buzamientos desde 35 a 60° hacia el SW y una mineralogía dominada por sulfuros como galena, pirita y esfalerita. En los

contactos superiores e inferiores de la veta con la roca adyacente (aproximadamente 6m) es común encontrar unidades litológicas altamente deformadas, fracturadas y fácilmente diferenciables del alrededor con presencia de estructuras como porfiroblastos budinados de cuarzo, diaclasamiento sigmoidal, slicken fibers, stockworks, zonas de vetillas caóticas y alteraciones hidrotermales (carbonatación y silicificación) que permiten inferir un emplazamiento del sistema en una zona de cizalla sinistral con componente normal y una zona de daño cercana a los 12m de espesor. Esta misma zona de debilidad facilitó la inyección de un dique aplítico que se encuentra en la misma disposición del sistema de vetas y, teniendo en cuenta las relaciones de corte que poseen, se plantea una relación de coetaneidad entre los dos elementos.

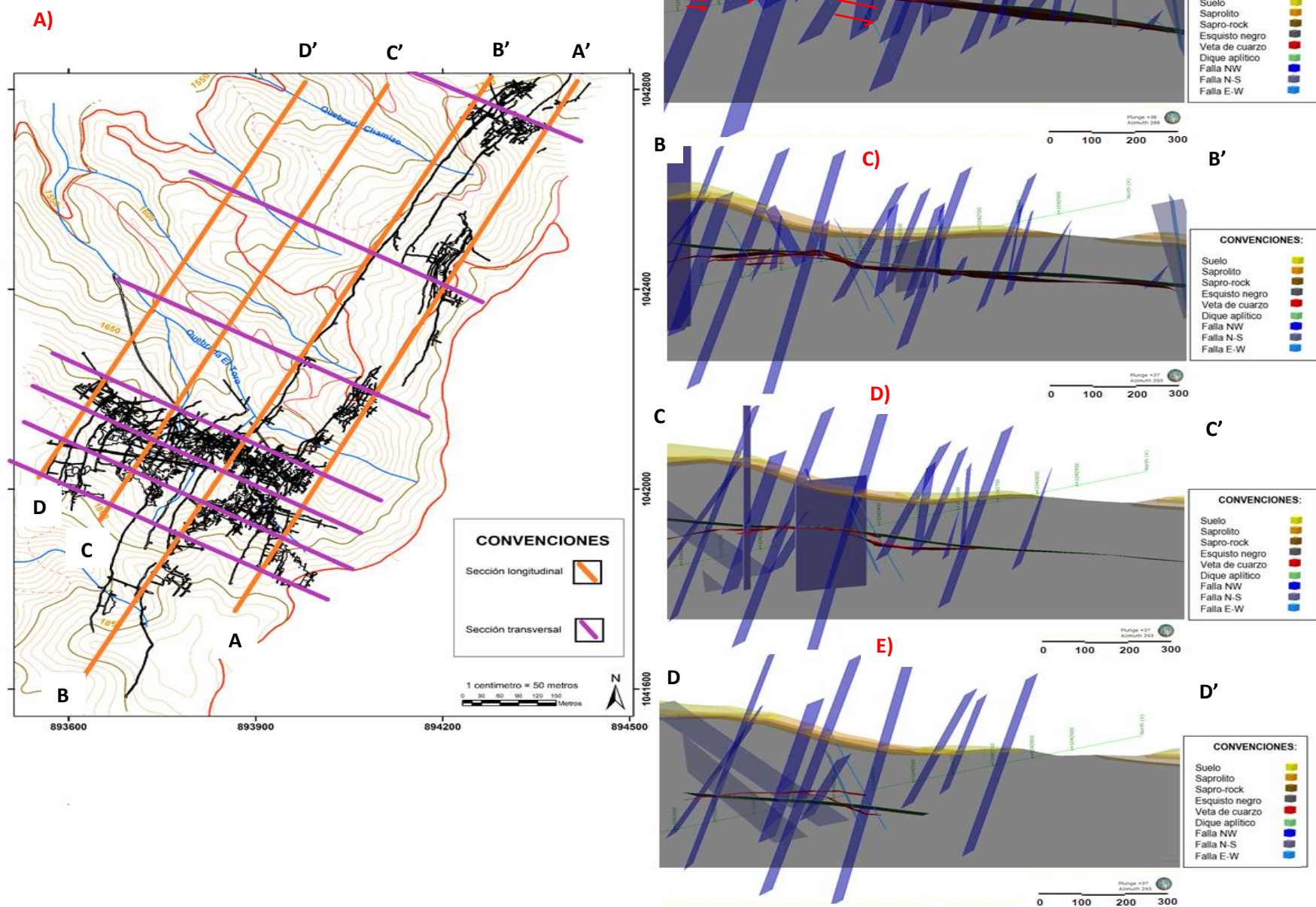


Figura 17. **A.** Perfiles longitudinales (líneas naranjas) del modelo geológico – estructural del depósito EGP; **B.** Perfil longitudinal A-A'; **C.** Perfil longitudinal B-B'; **D.** Perfil longitudinal C-C'; **E.** Perfil longitudinal D-D'.



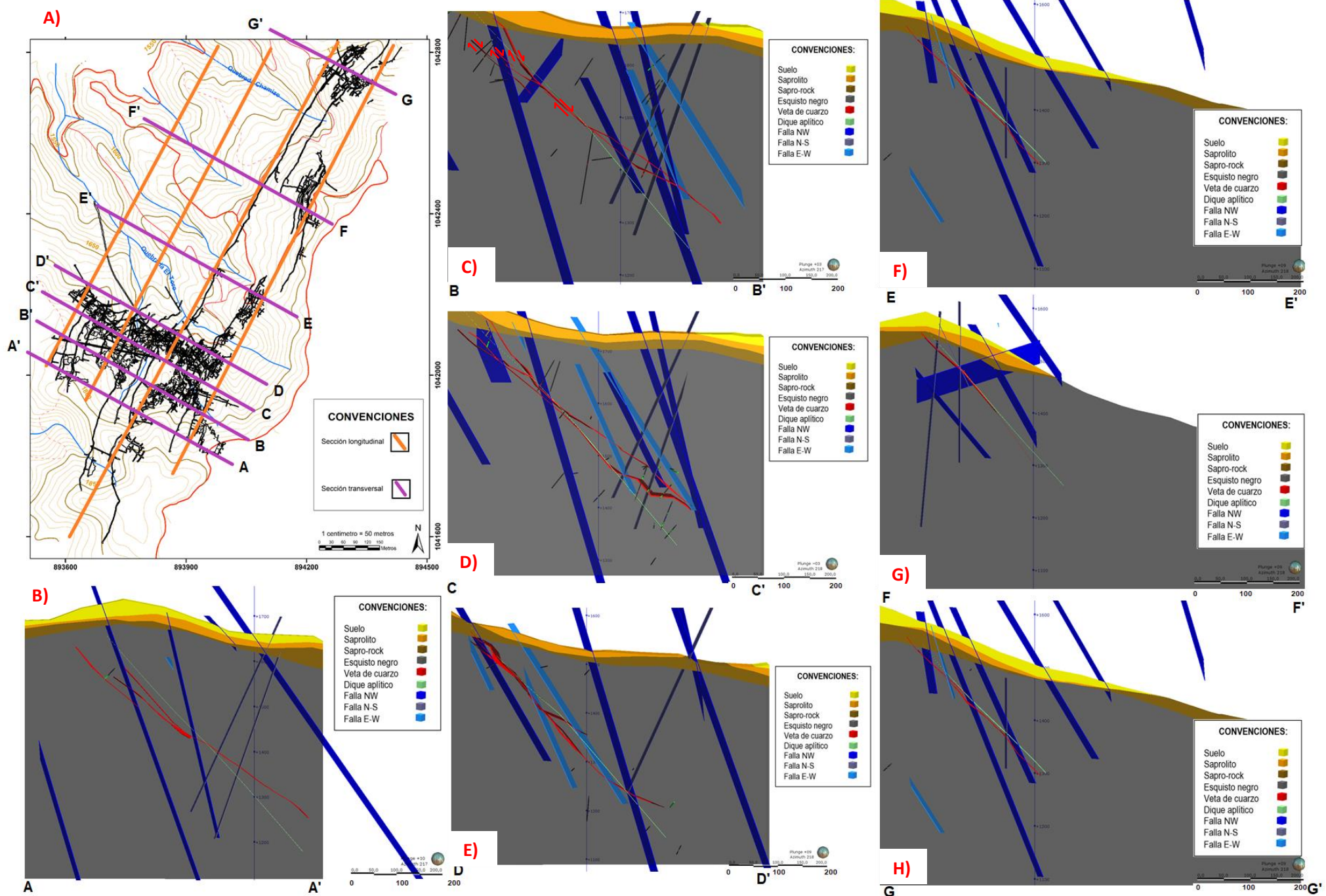


Figura 18. **A.** Perfiles transversales (líneas moradas) del modelo geológico – estructural del depósito EGP; **B.** Perfil transversal A-A'; **C.** Perfil transversal B-B'; **D.** Perfil transversal C-C'; **E.** Perfil transversal D-D'. **F.** Perfil transversal E-E'; **G.** Perfil transversal F-F'; **H.** Perfil transversal G-G'.

Considerando la dirección y cinemática de los grupos de fallas presentes en el yacimiento, es posible interpretar que el control estructural viene dado por un sistema de fallas Riedel asociado a la zona de cizalla sinistral en la que se emplazó el sistema de vetas como se evidencia en la figura 19.

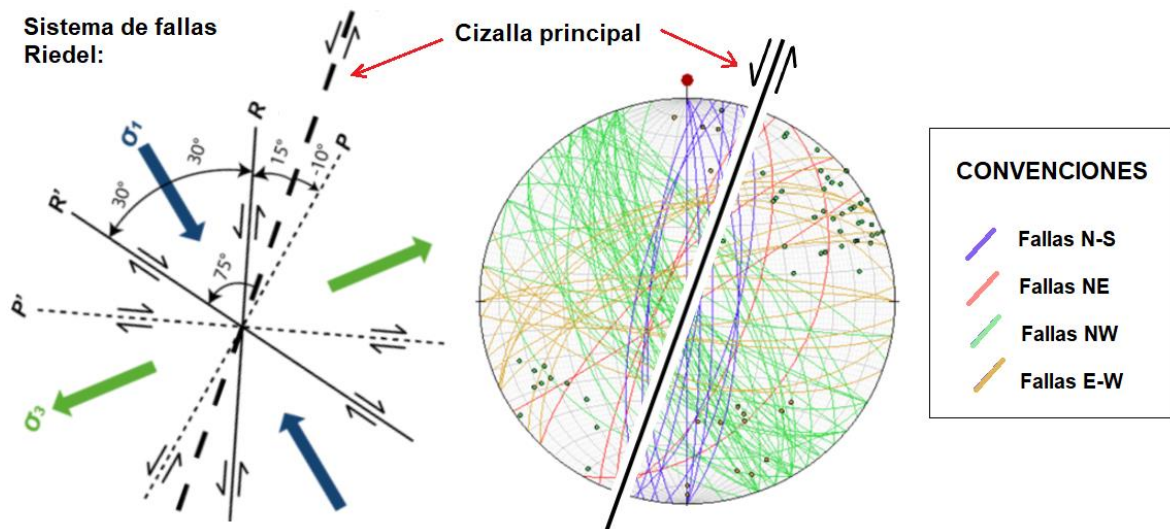


Figura 19. Comparación entre un sistema de fallas Riedel teórico (Hillacre, 2018) y los diferentes grupos de fallas identificados en el depósito EGP.

Estos grupos de fallas afectan todo el yacimiento, ya que cortan y desplazan el sistema de vetas a través de pequeñas dislocaciones que resultan, en el sector sur, en una ramificación del sistema en tres estructuras diferentes (Figura 17.B., 17.C., 18.B., 18.C., 18.D. y 18.E.) que es producto de la dinámica de la zona de cizalla principal puesto que en su proceso de formación genera contemporáneamente fallas secundarias o subsidiarias denominadas tipo R que después son afectadas por fallas tipo P, interconectándolas y evolucionando a estructuras mayores (que sirven del mismo modo como canales al fluido mineralizante) de cinemática sinistral a ángulos relativamente bajos respecto a la zona de desplazamiento principal; en la zona de estudio estos tipos de fallas se relacionan a los grupos de fallas N-S y NE respectivamente, siendo difíciles de identificar en campo debido a la dirección en la

que se forman pero que son evidentes por los cambios de dirección de la veta y/o el dique. Durante el proceso de deformación progresiva se crean también fallas tipo R' a ángulos más altos de la zona de desplazamiento principal, suelen ocurrir en la zona de superposición de dos fallas tipo R paralelas que, en varias ocasiones son unidas por la traza de la falla tipo R' (figura 20.A.); son de cinemática sinistral posiblemente afectadas o influenciadas a fallas tipo R' de los sistemas regionales de fallas dextralaterales como Palestina y Mulatos al oriente y occidente de la zona de estudio. Las fallas tipo P' se asocian a etapas tardías donde aparecen casi perpendiculares a la cizalla principal con cinemática antitética (dextral). Estos dos tipos de fallas son correlacionables en campo con los grupos de fallas NW y E-W respectivamente.

Las ramificaciones resultantes en la zona B) cizalla principal se deben en gran parte a sistemas de fallas tipo R o N-S y R' o NW que interactúan y conforman sistemas “sigmoidales trenzados” de fallas (o vetas) que recaen o se unen a la zona de cizalla principal (en buzamiento) tal como se muestra en la figura 17.B. y 18.B. Dichas estructuras se denominan estructuras en flor que, fundamentados en una cinemática de la componente vertical de tipo normal, indican una flor transtensional o negativa (figura 20.B.). (Tchalenko, 1970; Harding, 1990; Basile y Brun, 1998; Huang y Liu, 2017)

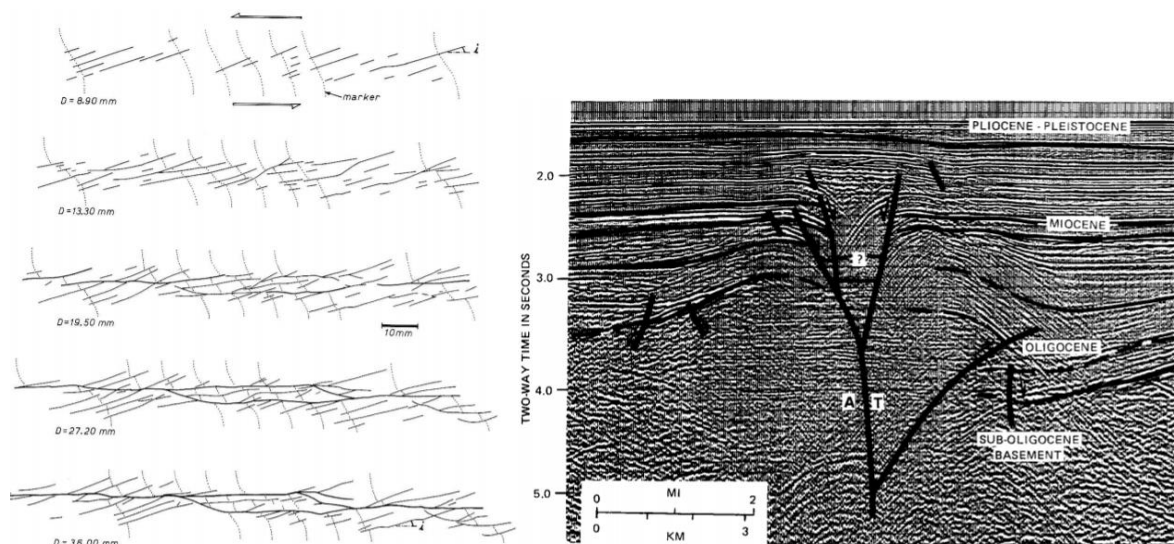


Figura 20. A. Secuencia de estructuras en el experimento de Riedel. (Tchalenko, 19670); B. Estructura en flor de gran escala (km) vista en línea sísmica. (Harding, 1990).

El depósito exhibe una estrecha relación entre las zonas de enriquecimiento de sulfuros y/o unión de vetas con espesores superiores a 5m con la intersección de fallas tipo R o N-S y tipo R' o NW de escalas métricas (Figura 17.B., 17.C., 17.D., 17.E., 18.B., 18.C., 18.D. y 18.E.) que se interpretan como zonas de alta complejidad estructural que favorecen el tránsito preferencial de los fluidos hidrotermales. Este fenómeno se presenta, aunque en menor proporción, en puntos de intersección de fallas R o N-S y P' o E-W (Figuras 17.C. y 18.D.).

## **10. Conclusiones**

La zona de cizalla del depósito vetiforme EGP tiene un tren estructural similar a la traza de los sistemas regionales de fallas dextrolaterales denominados como Falla Palestina y Falla Mulatos que, según la dirección del movimiento relativo de los bloques al occidente y oriente de la zona de estudio, conforman una zona de cizalla sinistral con rasgos estructurales similares, aunque de menor escala.

Se determinó que los cuatro sistemas de fallas del yacimiento (N-S, NE, NW y E-W) corresponden a un sistema de fallamiento subsidiario de tipo Riedel (R, P, R' y P') generado en el proceso de deformación progresiva de la zona de cizalla principal que corresponde al sitio de emplazamiento de la veta. Además, se plantea que las diferentes ramificaciones y uniones de vetas se tratan de fallas tipo R y P que interactuaron, en especial con el tipo R' para generar estructuras más complejas (en flor) de mayor escala que sirvieron como canales para la entrada de los fluidos mineralizantes.

El modelamiento geológico - estructural de la mina permitió conocer la distribución y geometría en profundidad de las unidades geológicas de interés, facilitando su



entendimiento y brindando información asociada a las relaciones estructurales que presentan los diques y vetas con los diferentes grupos de fallas y cómo estas relaciones condicionan zonas alto interés económico que, se pueden interpolar a regiones en desarrollo que evidencien características estructurales similares a las ya conocidas.

Este documento permite contribuir a la clasificación del yacimiento como un depósito de tipo oro orogénico (Groves, 1998) fundamentado en las características físicas propias de la zona en la que se encuentra la veta mineralizada y el alto control o relación estructural que evidencian las vetas en zonas de gran interés económico.

## **11. Recomendaciones**

Realizar dataciones radiométricas en el sistema de vetas y el dique que permitan diferenciar en términos temporales y espaciales los eventos mineralizantes y así, relacionarlos a procesos tectónicos regionales.

Llevar a cabo un levantamiento cartográfico subterráneo de detalle en guías, sobreguías y tambores que proporcione información de mayor resolución de la geometría de las unidades y dinámicas estructurales del depósito.

Desarrollar un programa de perforación de mayor alcance que brinde datos del subsuelo en las áreas colindantes a la tunelería desarrollada.

## **12. Referencias**

Angée, D.; Betancur, C., (2018). Caracterización petrográfica, metalográfica, microtermométrica y composicional de la mina El Gran Porvenir, Líbano, Tolima.

Aspden, J.A; McCourt, W.J.; Brook, M., (1987). Geometrical control of subduction related magmatism: the Mesozoic and Cenozoic plutonic history of western Colombia. *Journal of the Geological Society*.144, 893-905.

Basile, C., Brun, P., (1999). Trastensional faulting patterns ranging from pull-apart basins to transform continental margins: an experimental investigation. *Journal of Structural Geology* 21, 23-37.

Bele, S.; Kamberaj R., (2017). The Ore Deposit 3D Modelling, New Effective Solution in the Optimization of Geological and Mining Works. *Earth Sciences*. 6. p. 35-43.

Birch, C., (2014). New systems for geological modelling-black box or best practice. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 114.

Blanco-Quintero, I.F. Garcia-Casco, A. Toro, L. Moreno, M. Ruiz, E. Vinasco, C., (2014). Late Jurassic terrane collision in the northwestern margin Gondwana (Cajamarca Complex. eastern flank of the Central Cordillera. Colombia). *International Geology Review*.56, 1852-1872.

Botero, G., (1963). Contribución al conocimiento de la geología de la parte central de Antioquia. *Anales, Facultad de Minas*, (57): 101 p. Medellín.

Bustamante, C., Archanjo, C. j., Cardona, A., Bustamante, A.; Valencia, V. A. (2017). UPb Ages and Hf Isotopes in Zircons from Parautochthonous Mesozoic Terranes in the Western Margin of Pangea: Implications for the Terrane Configurations in the Northern Andes. Chicago: *Journal of Geology*.

Bustamante, C., Archanjo, C. J., Cardona, A.; Vervoort, J. D. (2016). Late Jurassic to Early Cretaceous plutonism in the Colombian Andes: A record of long-term arc maturity. Sao Paulo: The geological society of America.

Caballero, V.; Parra, M.; Mora-Bohorquez, A.R. (2010). Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno Tardío - Oligoceno temprano: Proveniencia sedimentaria en el sinclinal de Nuevo Mundo, cuenca Valle Medio del Magdalena. *Boletín de Geología*, 32(1), 45-77.

Cardona-Molina, A.; Cordani, U. G.; and Macdonald, W. (2006). Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. *J. South Am. Earth Sci.* 21:337–354.

Cediel, F., Shaw, R.P., and Cáceres, C., (2003). Tectonic assembly of the Northern Andean Block, in Bartolini, C., Buffer, R.T., and Blickwede, J., eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics*: American Association of Petroleum Geologists Memoir 79, p. 815–848.

Cochrane, R.; Spikings, R.; Gerdes, A.; Ulianov, A.; Mora, A.; Villagómez, D.; Putlitz, B.; and Chiaradia, M. (2014). Permo-Triassic anatexis: continental rifting and the disassembly of western Pangaea.

Cordani, U.; Cardona, A.; Jimenez, D. M.; Liu, D.; and Nutman, A. (2005). Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 246:329–346.

Cowan, E.J., Beatson, R.K., Fright, W.R., McLennan, T.J., Mitchell, T.J., (2002). Rapid geological modelling. *International Symposium*.

Durán, J., (2018). Metallogenic approach of the orogenic gold mineralization present at Líbano, Tolima. *Universidad de los Andes*.

Feiniger, T., Barrero, D., Castro, N., (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas. *Boletín Geológico*.

Goldfarb, R., Groves, D., Gardoll, S., (2001). Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geol. Rev.* 18, 1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)

Goldfarb, R.J., Baker, T., Dube, B., Groves, D., Hart, C., Gosselin, P., (2005). Distribution, Character, and Genesis of Gold Deposits in Metamorphic Terran. *Soc. Econ. Geol.* <https://doi.org/10.5382/AV100.14>

González, H., Nuñez, A., and Paris, G., (1988). Mapa Geológico de Colombia. Memoria explicativa: Bogotá, Ingeominas.

Groves, D., Goldfarb, R., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., (1998). Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol. Rev.* 13, 7–27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-)

Groves, D., Santosh, M., Goldfarb, R., Zhang, L., (2018). Structural geometry of orogenic gold deposits: Implications for exploration of world-class and giant deposits. *Geosci. Front.* 9, 1163–1177. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.01.006>

Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Robert, F., (2003). Gold Deposits in Metamorphic Belts: Overview of Current Understanding, Outstanding Problems, Future Research, and Exploration Significance 29.

Hall, R., Álvarez, J.; Rico, H. (1972). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona II-A). *Boletín Geológico*, 20(1), 1-85.

Harding, D., (1990). Identification of Wrench faults using subsurface structural data: criteria and pitfalls. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 74, 1590-1609.

Hill, E.J., Oliver, N., Cleverley, J., Nugus, M., Carswell, J., Clark, F., (2013). Characterisation and 3D modelling of a nuggety, vein-hosted gold ore body, Sunrise Dam, Western Australia, *Journal of Structural Geology* 1-13.

Hillacre, S., Ansdell, K., Mcewan, B., Mcnamara, G., (2018). Structural analysis, paragenesis, and preliminary geochronology of the Arrow uranium deposit, Athabasca Basin, northern Saskatchewan, Canada: Implications for controls on mineralization. 14th SGA Biennial Meeting.

Hronsky, J.M., (2019). Deposit-scale structural controls on orogenic gold deposits: an integrated, physical process-based hypothesis and practical targeting implications. *Mineralium Deposita* 55, p. 197–216

Huang, L. & Liu, C., (2017). Three types of flower structures in a divergent wrench fault zone. *American Geophysical Union*

Kerr, A.C., Marriner, G.F., Tarney, J., Nivia, A., Saunders, A.D., Thirlwall, M.F., and Sinton, C.W., (1997). Cretaceous basaltic terranes in western Colombia: Elemental, chronological and Sr–Nd isotopic constraints on petrogenesis: *Journal of Petrology*, v. 38, p. 677–702. doi:10.1093/petroj/38.6.677

Knight, R. H., Lane, R. G., Ross, H. J., Abraham, A. P. G., Cowan, J., (2007). Implicit Ore Delineation. *Mine Site Exploration and Ore Delineation & Ore Deposits and Exploration Technology* 114, 1165-1169.

Kroonenberg, S.B., (1982). A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relation to the Guiana Shield. *Geologie en Mijnbouw* 61 (3), 325–333.

Leal-Mejía, H. (2011). Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes: a tectono-magmatic approach. PhD dissertation, Universitat de Barcelona.

MacKenzie, D.J., Craw, D., Mortensen, J., (2008). Structural controls on orogenic gold mineralisation in the Klondike goldfield, Canada. *Miner. Deposita* 43, 435–448. <https://doi.org/10.1007/s00126-007-0173-z>

Maya, M., and González, H., (1995) Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia: *Boletín Geológico, Ingeominas*, v. 35, no. 2–3, p. 43–57.

Nelson, W., (1962). Contribución al conocimiento de la geología de la Cordillera Central de Colombia, sección entre Ibagué y Armenia. Boletín Geológico Servicio Geológico Nacional, X (1-3): 168- 183. Bogotá.

Ordóñez-Carmona, O., Restrepo Álvarez, J.J., Pimentel, M.M., (2006). Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. Journal of South American Earth Sciences 21, 372–382.

Pindell, J., Kennan, L., (2009). Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update. Geological Society of London Special Publication 328, 1–55.

Ramírez, A., (2016). Geology, geochemistry and 3D geological modelling of the Independencia – Los Bancos Ag-Au epithermal vein systems in the Palmarejo district, Chihuahua, México. University of Texas at El Paso 928.

Restrepo, J. J.; Ordóñez-Carmona, O.; Armstrong, R.; and Pimentel, M. M. (2011). Triassic metamorphism in the northern part of the Tahamí Terrane of the central cordillera of Colombia. J. South Am. Earth Sci. 32:497–507.

Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. Episodes 11 (3), 189–193.

Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G., Cosca, M., (1997). Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. Earth and Planetary Science Letters 150, 427–441.

Sarmiento-Rojas, L. F.; Van Wess, J. D.; and Cloetingh, S. (2006). Mesozoic transtensional basin history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes: inferences from tectonic models. J. South Am. Earth Sci. 21:383–411, doi:10.1016/j.jsames.2006.07.003.

Sibson, R., Robert, F., Poulsen, H., (1988). High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits.

Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). Suiza: Gondwana Research.

Tchalenko, J., (1970). Similarities between Shear Zones of Different Magnitudes. Geological Society of America Bulletin 81, 1625-1640.

Toussaint, J.F., (1995) Evolución Geológica de Colombia durante el Triásico y el Jurásico: Medellín, AN, Universidad Nacional de Colombia, 23 p.

Toussaint, J.F., Restrepo, J.J., (1994). The Colombian Andes during Cretaceous times. In: Cretaceous Tectonics of the Andes. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, pp. 61–100.

Van der Lelij, R.; Spikings, R.; Ulianov, A.; Chiaradia, M.; Mora, A. (2016). Palaeozoic to Early Jurassic history of the northwestern corner of Gondwana, and implications for the evolution of the Iapetus, Rheic and Pacific Oceans. *Gondwana Research*, 31, 271-294.

Villagómez, D., Spikings, R. Magna, T. Kammer, A. Winkler, W. Beltrán, A., (2011). Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. *Lithos* 125 pp. 875–896.

Vinasco, C.J., Cordani, U.G., González, H., Weber, M., Pelaez, C., (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 21, 355–371.

Vollgger, S., Wilson, C., Micklethwaite, S., Tomkins, A., Cruden, A., (2019). Ore shoots in folded and fractured rocks - insights from 3D modelling of the Fosterville gold deposit (Victoria, Australia), *Ore Geology Reviews*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103272>

## **Anexos**

**Anexo A:** Tablas de collares de las perforaciones diamantinas del depósito vetiforme EGP.

Drillhole	East	North	Elev	Depth
EGP-14-DH-12	894	1042845,72	1626,64	117,5
EGP-14-DH-13	894	1042845,06	1626,74	130
EGP-14-DH-14	894	1042847,27	1626,55	137,35
EGP-14-DH-15	894	1042899,24	1608,59	110,35
EGP-14-DH-16	894	1042939,14	1593,41	145
EGP-14-DH-17	894	1042964,33	1584,42	171,5
EGP-14-DH-18	894	1042940,08	1590,21	150,9
EGP-14-DH-19	894	1042940,87	1590,06	173
EGP-14-DH-20	894	1042942,68	1589,87	205
EGP-14-DH-22	893	1042067,06	1462,62	51
EGP-15-DH-23	893	1042109,11	1462,2	151
EGP-15-DH-24	893	1042017,26	1461,99	101,6
EGP-15-DH-25	893	1042025,08	1461,94	145
EGP-15-DH-26	893	1042018,93	1462,06	50
EGP-15-DH-27	893	1042119,96	1434,04	59,8
EGP-15-DH-28	893	1042126,57	1434,13	22,5
EGP-15-DH-29	893	1042073,69	1433,8	60
EGP-15-DH-30	893	1042089,94	1417,33	59,8
EGP-15-DH-31	893	1042235,34	1641,63	160
EGP-15-DH-32	893	1042258,88	1626,84	201,4
EGP-15-DH-33	893	1042259,02	1626,72	195,85
EGP-15-DH-34	89	1042259,28	1644,89	194,65
EGP-15-DH-35	893	1042298,97	1631,6	208,6
EGP-15-DH-36	894	1042796,71	1548,06	35,5
EGP-15-DH-37	894	1042799,37	1548,09	30,45
EGP-15-DH-38	894	1042800,03	1548,02	35
EGP-16-DH-39	893	1042171,25	1434,97	67,15
EGP-16-DH-41	893	1042171,87	1434,43	121,8
EGP-16-DH-42	893	1042173	1434,53	120
EGP-16-DH-43	893	1042168,42	1434,43	75
EGP-16-DH-44	893	1042170,81	1434,61	100,2
EGP-16-DH-45	893	1042171,5	1434,8	155
EGP-16-DH-46	893	1042171,81	1434,64	156,1
EGP-16-DH-47	893	1042171,99	1434,75	120,2
EGP-16-DH-48	893	1042172,91	1434,83	79,75
EGP-16-DH-49	893	1042175,04	1435,11	98
EGP-16-DH-50	893	1042175,36	1435,3	114,5
EGP-16-DH-52	893	1042140,26	1638,1	99,35
EGP-16-DH-53	894	1042530,03	1682,71	121
EGP-16-DH-54	894	1042449,89	1769	100,5
EGP-16-DH-55	894	1042450,05	1769,02	50
EGP-16-DH-56	894	1042449,25	1768,78	46,5
EGP-16-DH-57	894	1042347,91	1756,11	54,3
EGP-16-DH-58	894	1042348,19	1755,86	70,7
EGP-17-DH-60	89	1042243,93	1740,13	73,5
EGP-17-DH-61	894	1042243,61	1740,28	64,5

EGP-17-DH-62	894	1042153,54	1741,88	100
EGP-17-DH-63	894	1042152,49	1741,77	60
EGP-17-DH-64	894	1042152,58	1741,77	66
EGP-17-DH-65	894	1042152,69	1741,53	81
EGP-17-DH-66	893	1041941,9	1763,12	80,8
EGP-17-DH-67	893	1041942,48	1763,23	92,5
EGP-17-DH-68	893	1041901,05	1765,92	180
EGP-17-DH-69	893	1041901,35	1765,91	130,5
EGP-17-DH-70	893	1041901,55	1766,01	100,5
EGP-17-DH-71	894	1042602,66	1686,26	160
EGP-17-DH-72	89	1042414,86	1699,09	130
EGP-17-DH-73	894	1042414,87	1698,89	152,7
EGP-17-DH-74	894	1042414,9	1698,7	117
EGP-17-DH-75	894	1042414,98	1698,74	160
EGP-17-DH-76	894	1042416,23	1698,94	135,9
EGP-18-DH-77	893	1042200,98	1435,2	197,8
EGP-18-DH-78	893	1042201,03	1435,17	202,3
EGP-18-DH-79	893	1042201,07	1435,19	201,5
EGP-18-DH-80	893	1042150,67	1743,43	247,5
EGP-18-DH-81	893	1042150,71	1743,48	300
EGP-18-DH-82	893	1042150,67	1743,34	306
EGP-18-DH-83	893	1042169,11	1699,5	66
EGP-18-DH-84	893	1041954,54	1712,6	157
EGP-18-DH-85	893	1041954,65	1712,61	118,5
EGP-18-DH-86	893	1041954,47	1712,66	100,5
EGP-19-DH-87	893	1041954,37	1712,67	81
EGP-19-DH-88	893	1041954,51	1712,7	109,5
EGP-19-DH-89	893	1041954,64	1712,65	100
EGP-19-DH-90	893	1041994,64	1712,58	95
EGP-19-DH-91	893	1041994,71	1712,59	100,5
EGP-19-DH-92	893	1041994,64	1712,58	70,5
EGP-19-DH-93	893	1041994,1	1712,59	100,5
EGP-19-DH-94	893	1041994,22	1712,52	100,5
EGP-19-DH-95	893	1041994,02	1712,66	100
EGP-19-DH-96	893	1041857,19	1792,69	150
EGP-19-DH-97	893	1041857,35	1792,65	115,5
EGP-19-DH-98	893	1041857,41	1792,82	84,45
EGP-19-DH-99	893	1041856,53	1792,76	165,5
EGP-19-DH-100	893	1041856,37	1792,96	165
EGP-19-DH-101	893	1041856,74	1792,84	160,5
EGP-19-DH-102	89	1042166	1669,46	206
DHU-01	893	1041945,76	1611,17	42,65
DHU-02	893	1041944,46	1611,29	50
DHU-03	893	1041959,43	1609,5	66
DHU-04	893	1042060,25	1640,78	51
DHU-05	893	1042063,87	1640,69	30
DHU-06	894	1042162,81	1642,47	38,5



DHU-07	894	1042157,48	1642,47	30
DHU-08	894	1042151,33	1642,36	27,2
DHU-09	894	1042145,83	1642,28	24,4
DHU-10	894	1042117,68	1641,8	51
DHU-11	894	1042114,8	1641,92	27
DHU-12	893	1041583,78	1546,36	70
DHU-13	893	1041586,29	1546,65	100
DHU-14	893	1041586,31	1546,51	111
DHU-15	893	1041583,52	1546,49	87,5
DHU-16	893	1041795,04	1544,31	70,5
DHU-17	893	1041907,41	1553,04	100,5
DHU-18	893	1041909,91	1553,22	48
DHU-19	893	1042270,14	1398,19	159
DHU-20	893	1042270,21	1398,2	252
DHU-21	893	1042159,71	1490,19	115,3
DHU-22	893	1042270,32	1398,2	197,5
DHU-23	893	1042160,97	1490,28	116,8
EGP-20-DH-103	893	1042166,07	1669,52	70,5
EGP-20-DH-104	893	1042164,86	1669,58	189,5
EGP-20-DH-105	893	1042219,32	1663,39	221,25
EGP-20-DH-106	893	1042219,32	1663,39	302
DHU-24	893	1041888,3	1542,79	120,2
DHU-25	893	1041888,3	1542,79	72,3
DHU-26	893	1042111,51	1434,91	92,7
DHU-27	893	1042174,92	1435,39	121,5
DHU-28	893	1042126,45	1436,58	102,3
AET-001	893	1042168,38	1688,81	267,3
AET-002	893	1042173,28	1637,61	210,3
AET-003	893	1042067,78	1689,41	134,1
AET-004	893	1042067,98	1689,31	307,8
AET-005	893	1042050,88	1698,91	306,3
AET-006	893	1042050,88	1699,11	330,7
AET-007	893	1042152,18	1742,71	457,2
AET-008	893	1042152,08	1742,71	411,5
AET-009	893	1042152,08	1742,71	470,9
AET-010	893	1041965,18	1757,31	277,4
GP-11-DH-00	893	1042236,38	1688,11	269,9
GP-11-DH-01	893	1041820,08	1828,61	340,7
GP-11-DH-02	893	1041906,28	1775,61	100,5
MGP-2010-01	893	1042038,98	1544,81	75,1
MGP-2010-02	893	1042122,18	1539,71	47,7
MGP-2010-03	893	1041980,08	1642,51	65,1
MGP-2010-04	893	1042233,18	1688,01	44,9
MGP-2010-05	893	1042387,68	1670,41	131,8
MGP-2011-06	893	1041833,28	1543,51	66,9
MGP-2011-07	893	1041888	1542,41	47,6
MGP-2011-08	893	1042106,28	1528,81	27,3

MGP-2011-09	893:	1042083,18	1540,31	59,2
MGP-2011-13	894	1042532,8	1700,6	100,6
EGP-15-DH-04	893:	1042209,14	1654,18	342
DHU-29	893:	1041846,89	1642,97	99,5
DHU-30	893:	1041845,3	1642,96	100,5
DHU-31	893:	1041915,3	1646,07	138,4
DHU-32	893:	1041915,5	1645,92	110,9
DHP-002	894:	1042948,42	1605,9	250
DHP-004	893:	1042209,14	1654,18	342
DHP-005	894:	1042797,67	1699,74	119
DHP-006	894:	1042798,39	1700,09	221,5
DHP-007	894:	1042798,44	1700,07	235
DHP-008	894:	1042796,69	1699,92	59,5
DHP-009	894:	1042797,13	1699,96	251,5
DHP-010	894:	1043093,53	1563,61	350,1
DHP-011	894:	1043093,95	1563,73	400,2
DHP-012	894	1043093,57	1563,79	350,45
DHP-013	894:	1043092,32	1563,92	384
DHP-014	894	1043093,55	1563,83	202,15
DHP-015	893:	1042490,21	1556,5	452,4
DHP-016	893:	1042490,63	1556,7	639,8
DHP-017	893:	1042490,46	1556,67	605,5
DHP-018	893:	1042489,68	1556,63	602,9
DHP-019	893:	1042490,02	1556,67	575
DHU-33	893:	1041914	1645,97	69,5
DHU-34	893:	1042086,4	1540,76	54,05
DHU-35	893:	1042085,55	1541,97	54
EGP-21-DH-107	894:	1042362,6	1680,72	152
EGP-21-DH-108	894:	1042362,6	1680,55	200

*No se incluye más información relacionada a la base de datos de las perforaciones por políticas de confidencialidad de la compañía.*

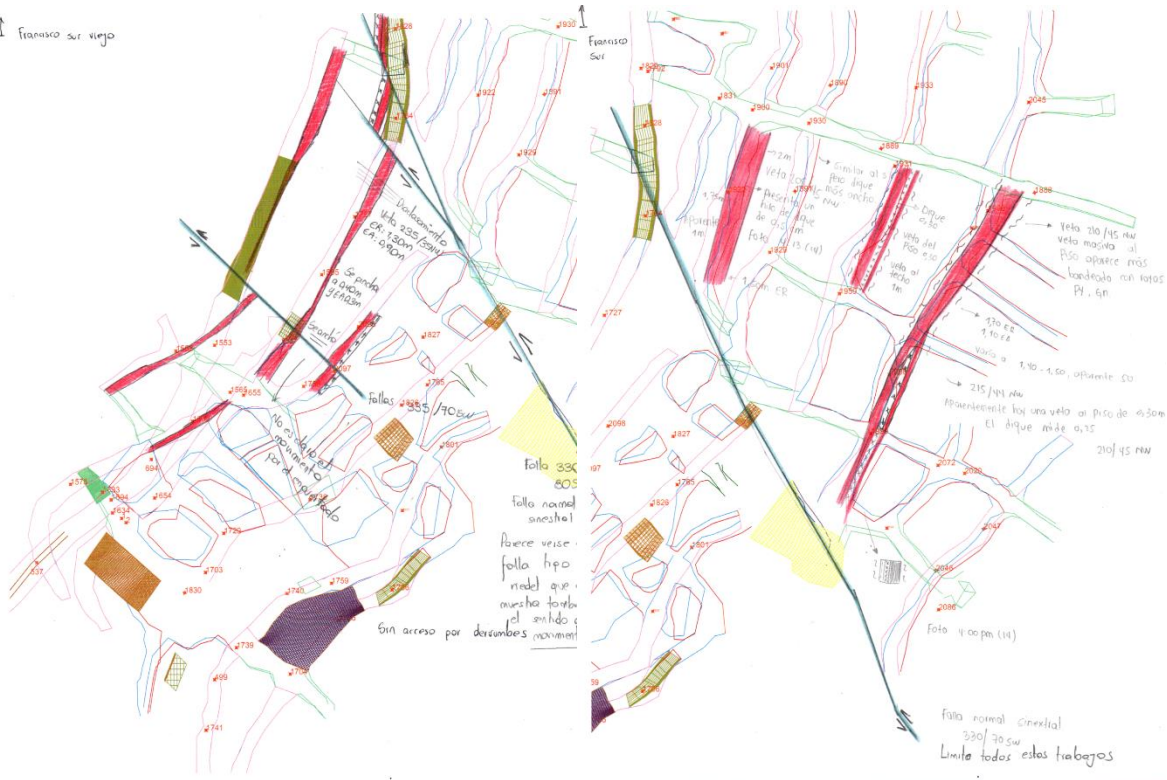
## Anexo B: Hojas cartográficas escala 1:250 en el depósito vetiforme EGP.



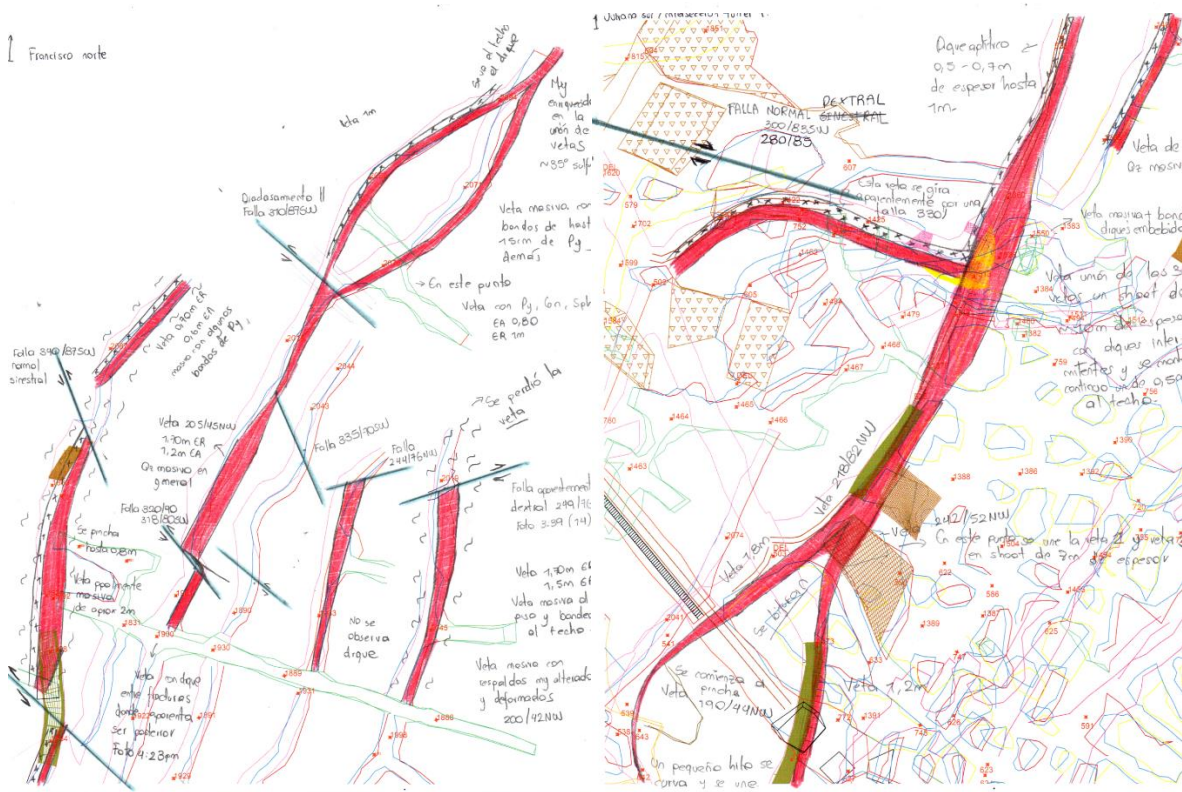




↑ Francisco sur viejo

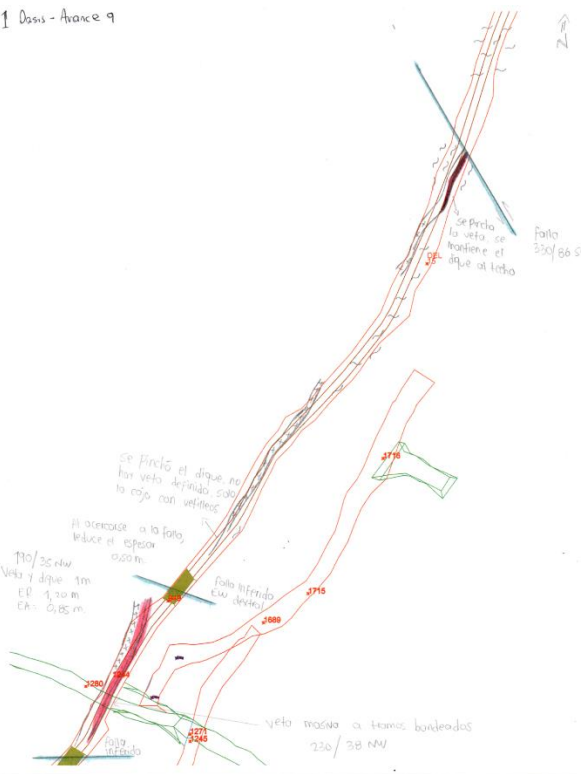


↑ Francisco norte

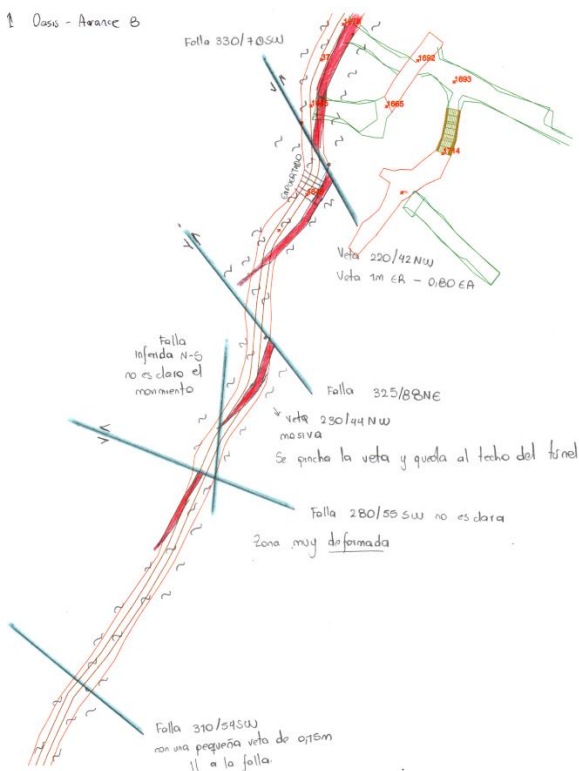




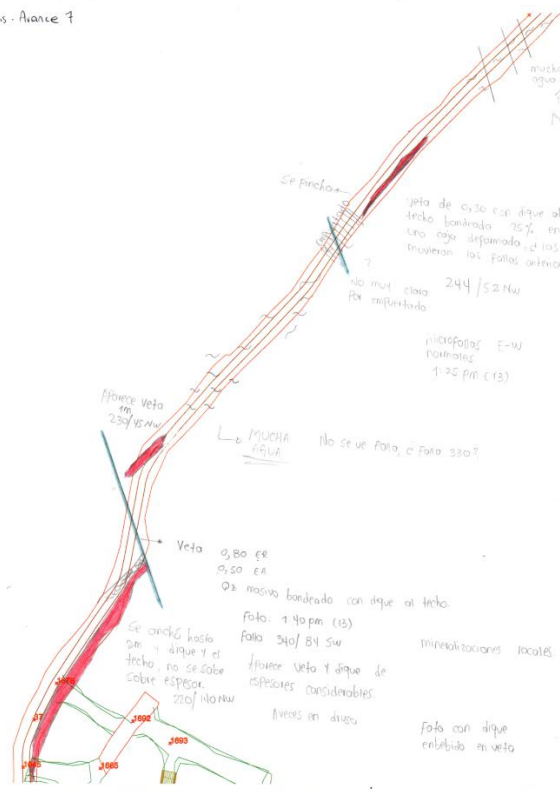
1 Dosis - Avance 10



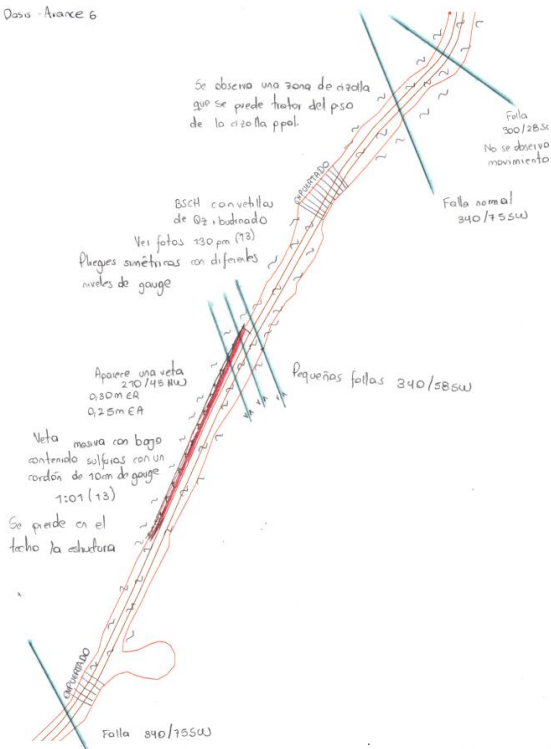
1 Dosis - Avance B



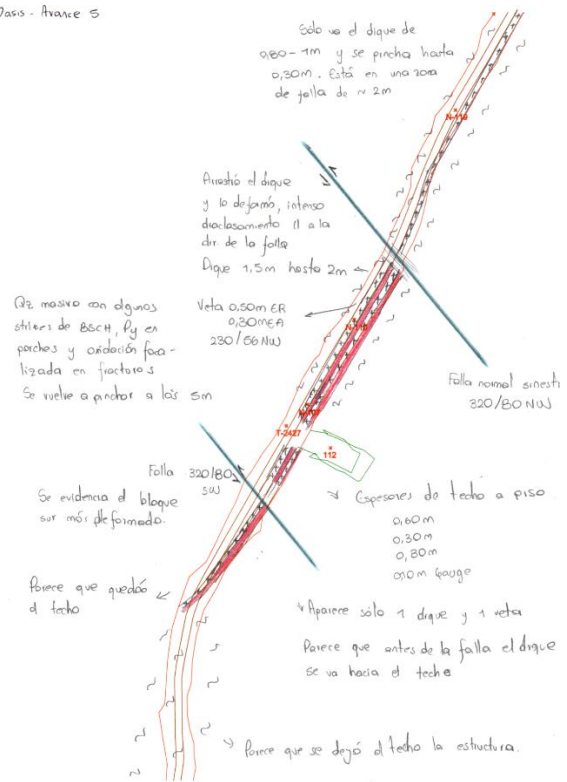
1 Dosis - Avance 7



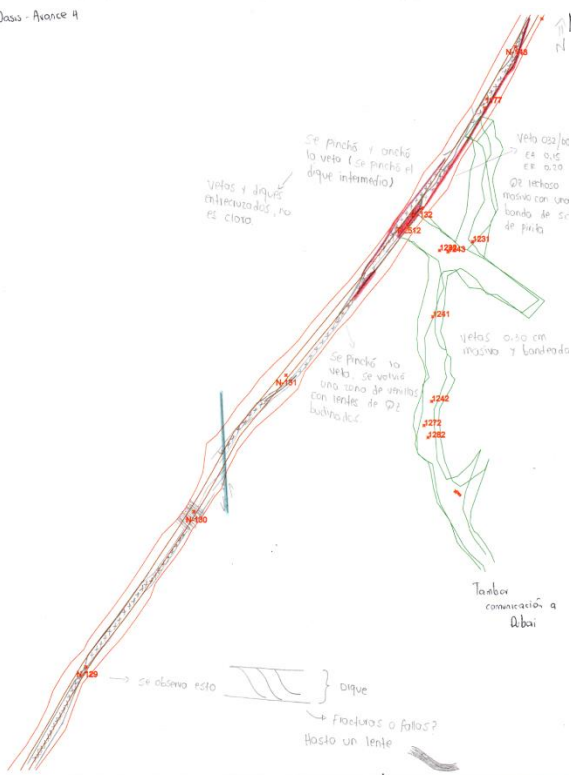
↑ Ocaso - Avance 6



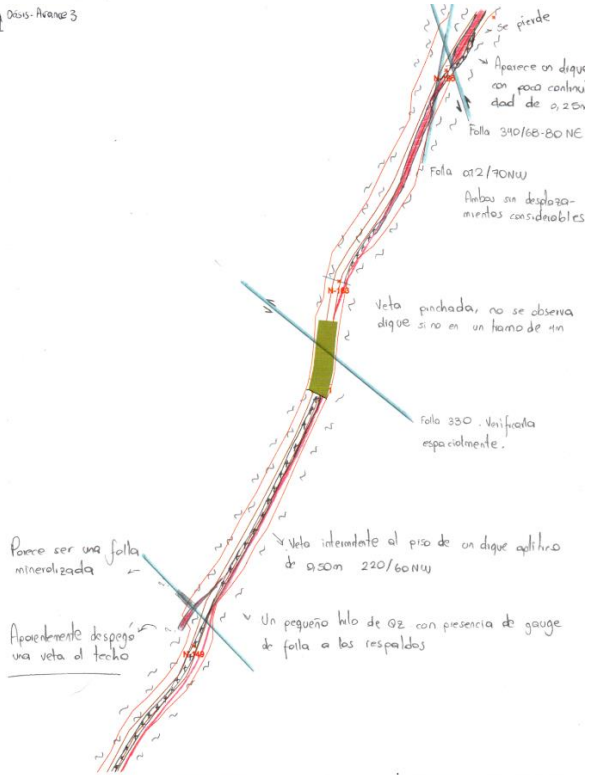
↑ Ocaso - Avance 5



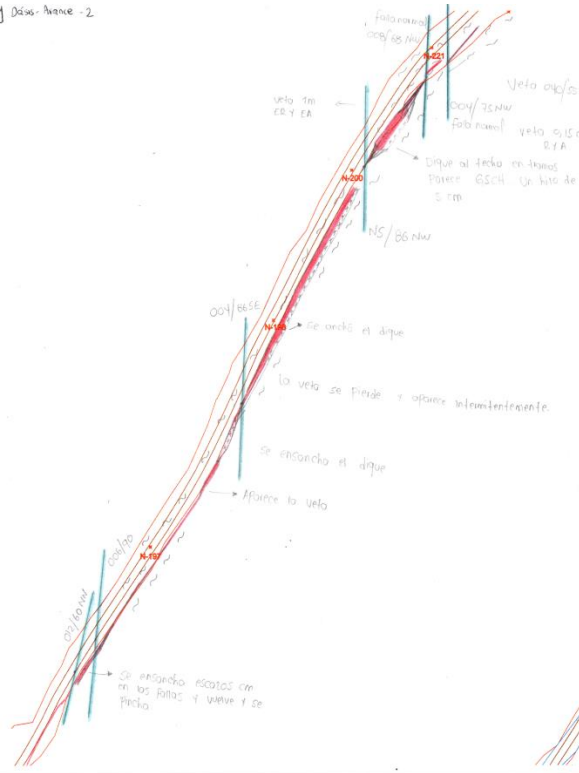
↑ Ocaso - Avance 4



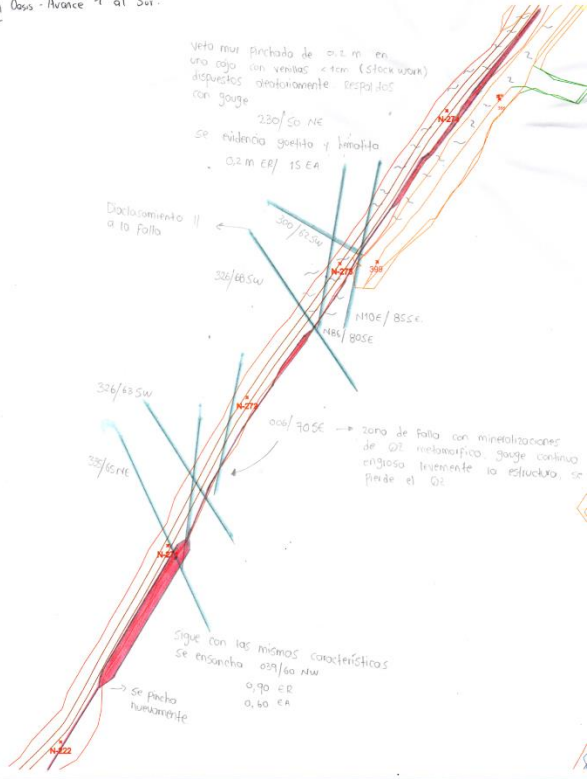
↑ Ocaso - Avance 3



1 Oasis - Avance - 2



1 Oasis - Avance - 1 al Sur



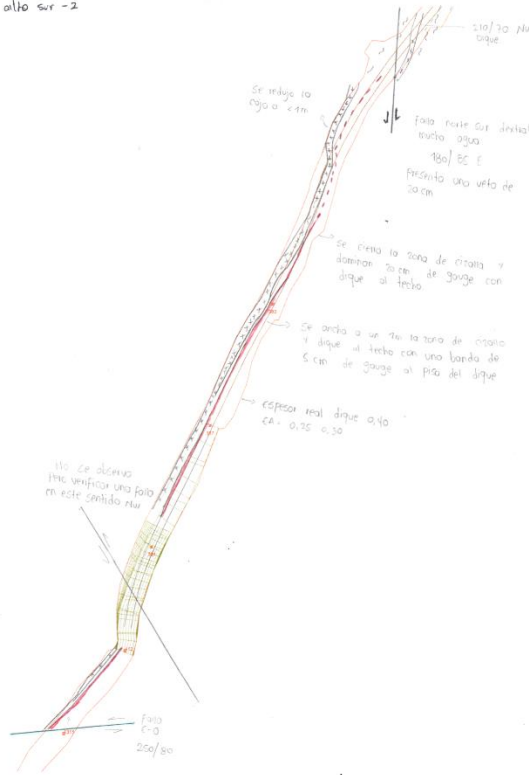
1 Oasis - Avance - 11



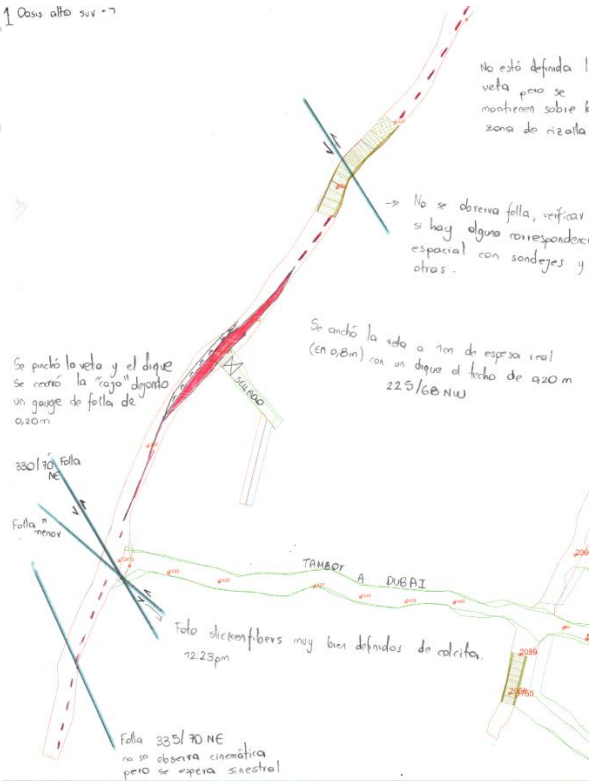




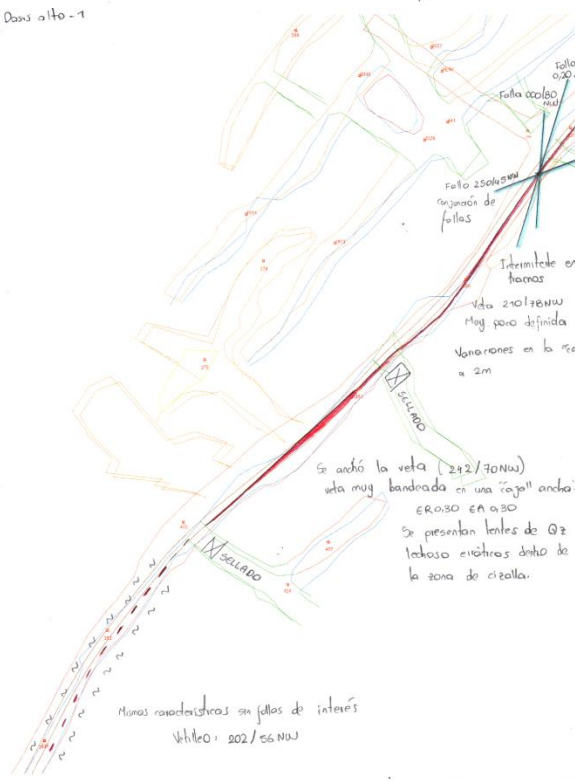
1 Dosis alto sur -2

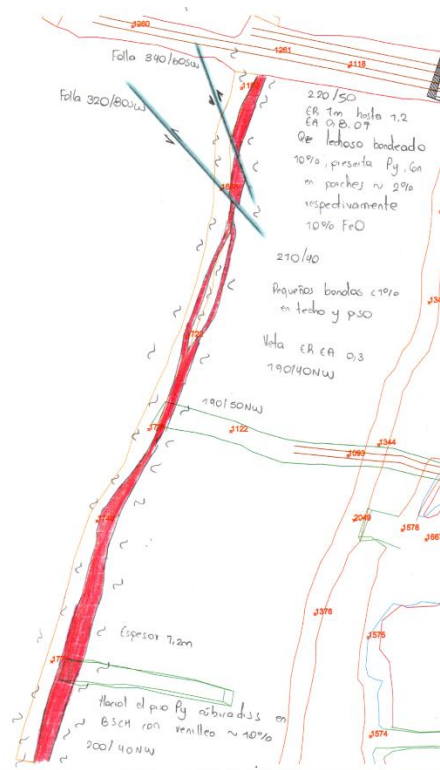
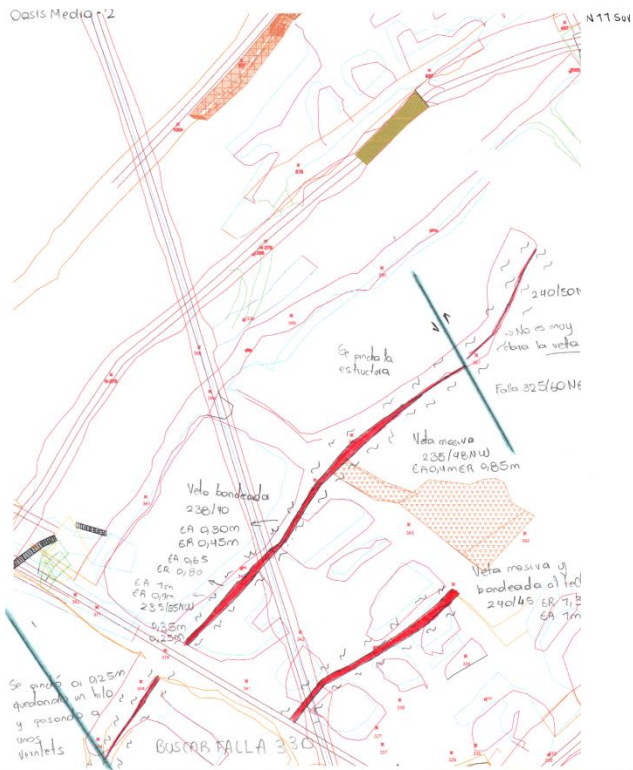


1 Dosis alto sur -7



1 Dosis alto -1

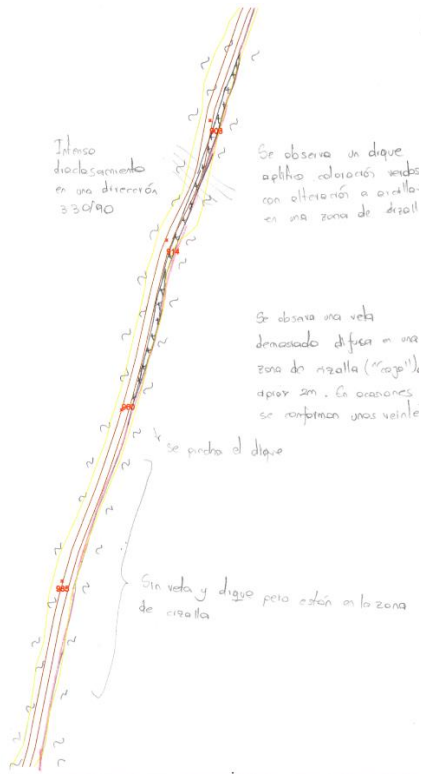




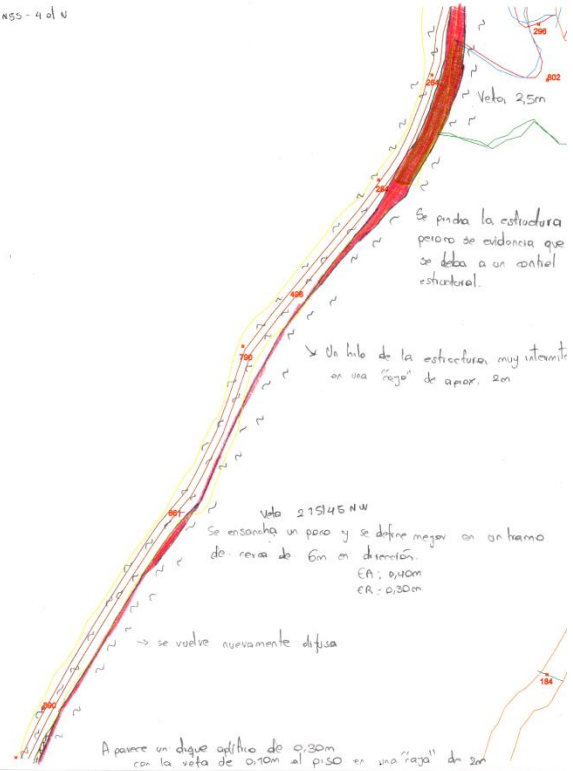




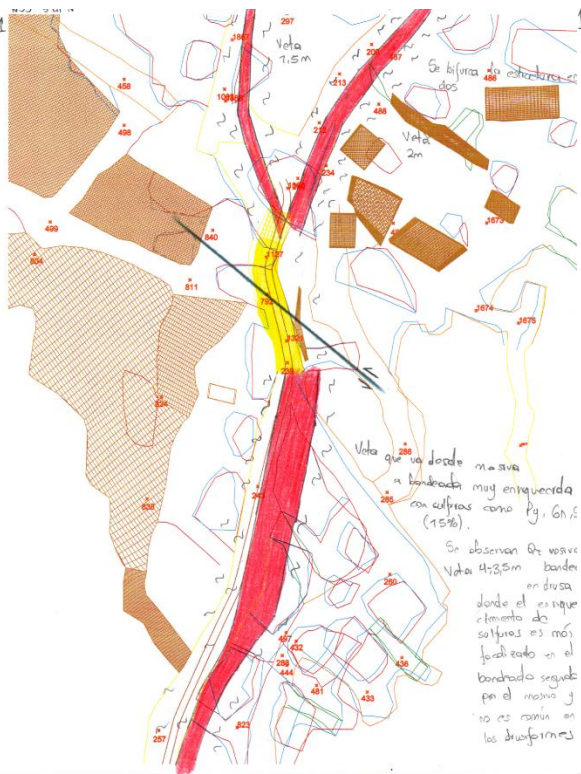
↑ NS5-3 al N



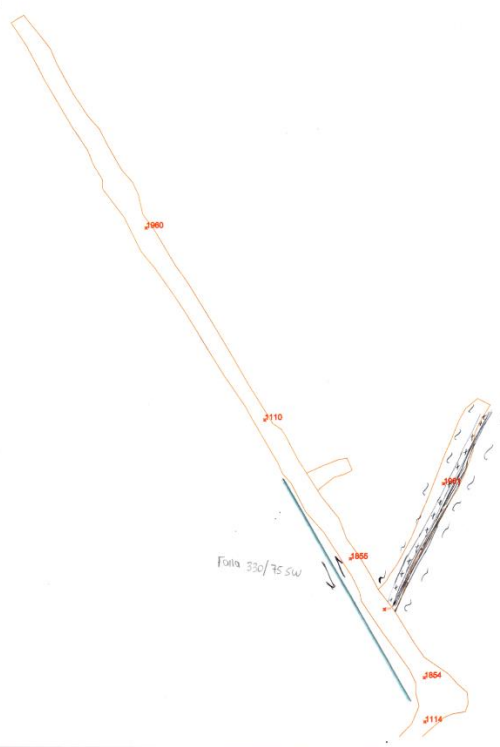
↑ NS5-4 al N



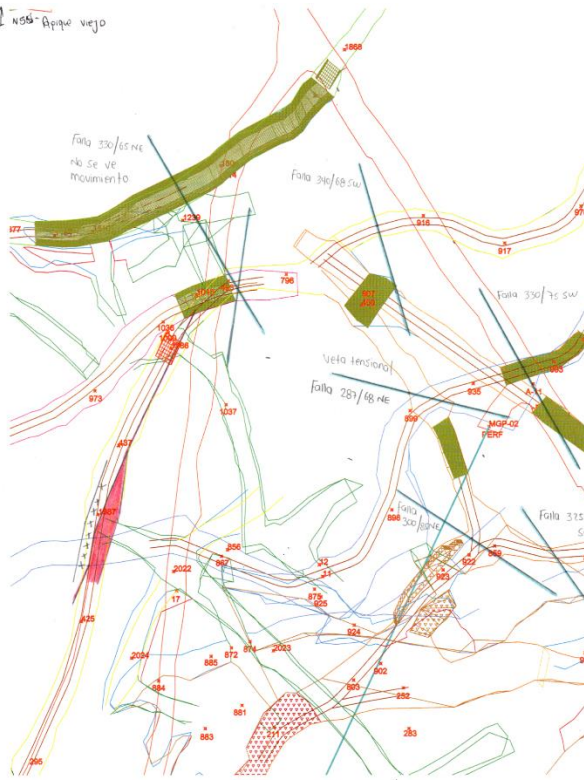
↑



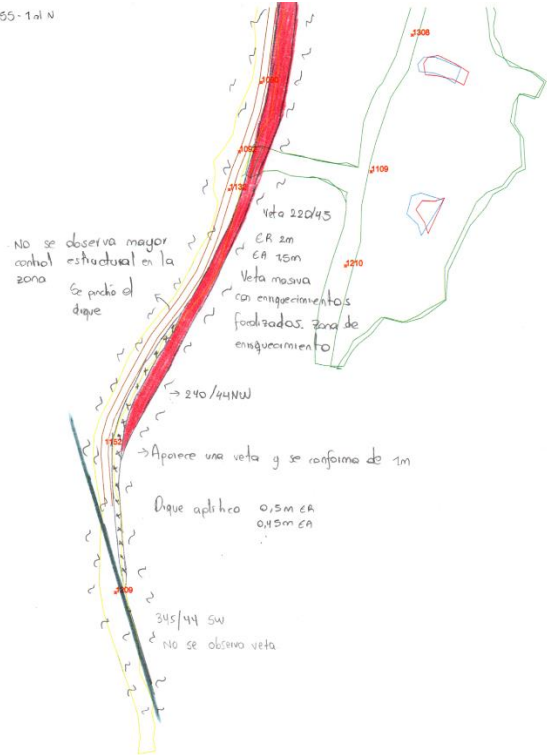
↑ NS4 - Apique Veta interna cruzada al techo.



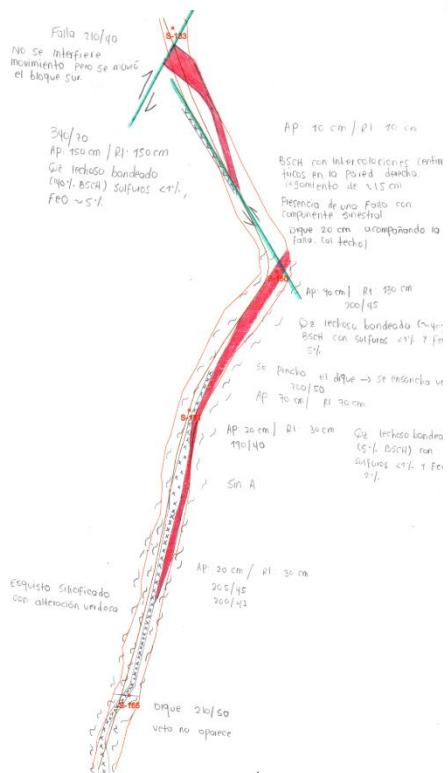
1 NSS- Apique viejo



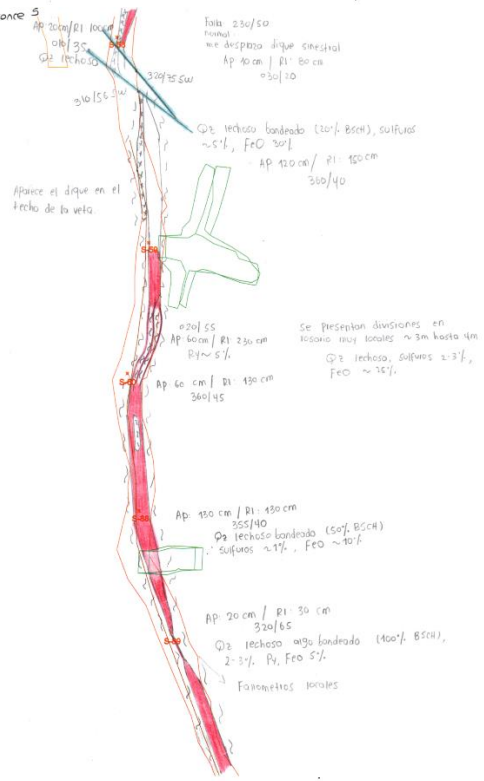
1 NSS- 1 al N



Guía San Phance 6

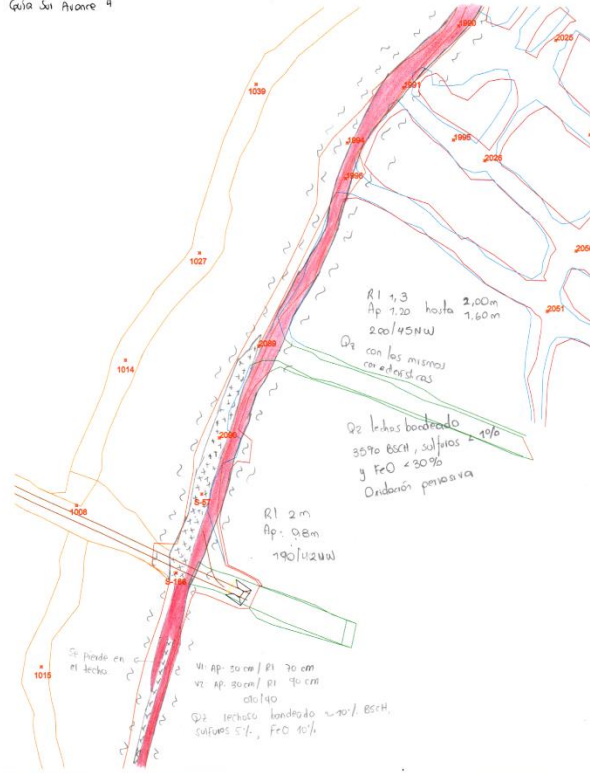


Guía San Phance 5





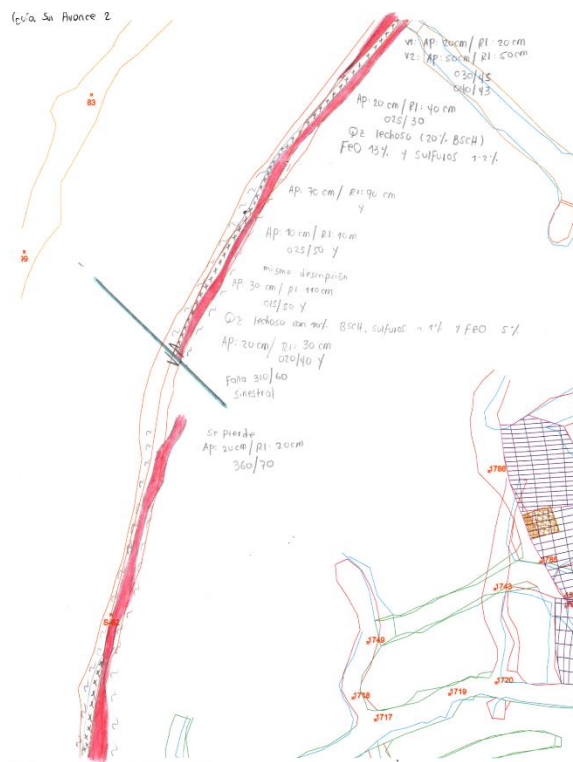
Guía San Antonio 4



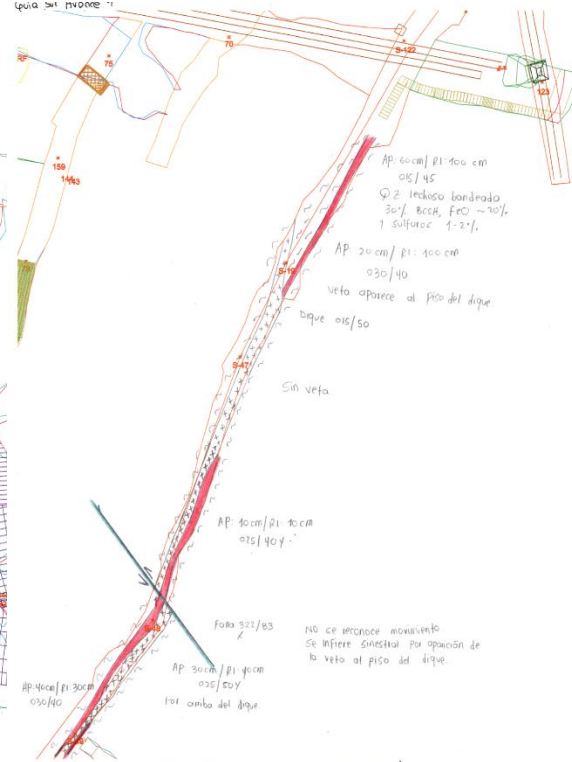
Guía San Antonio 3



Guía San Antonio 2



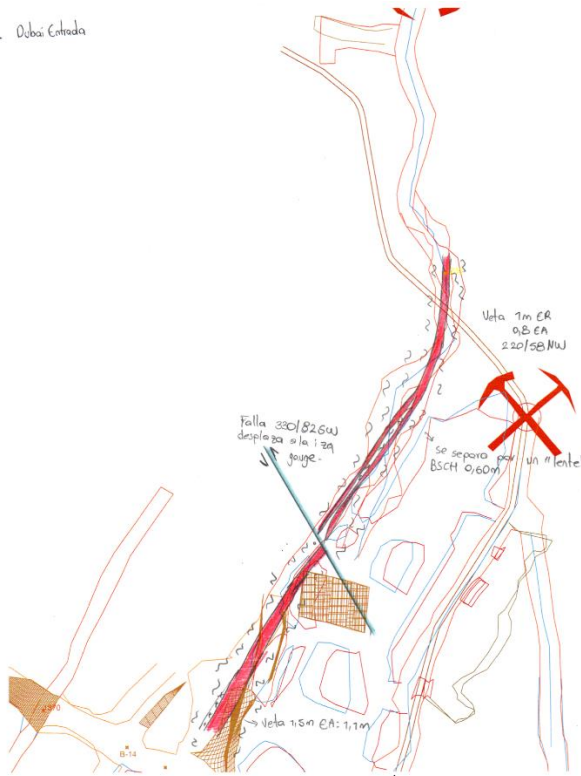
Guía San Antonio 1



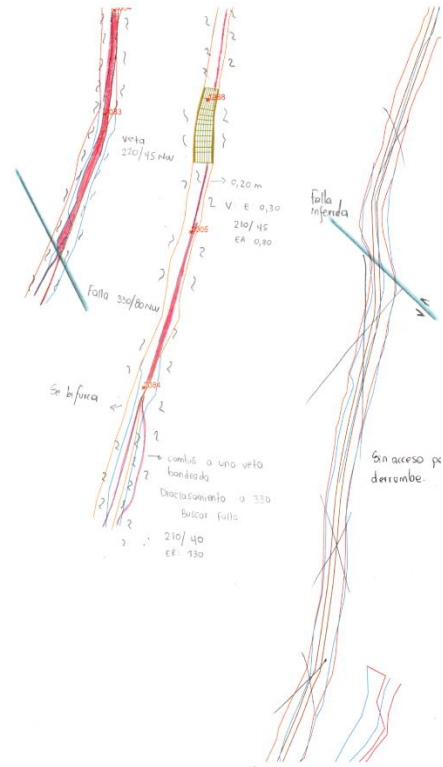




1 Dubai Cotada



↑ Dubai Sur



↑ Chorda norte



↑ Chorda Media



Espesor